Journal of Water and Soil
Vol. 35, No. 2, May-June 2021, p. 203-225

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۴۰۰، ص. ۲۲۵-۲۰۳

مقاله پژوهشی

برآورد محدوده جریان رهاسازی بهینه از سد جامیشان با در نظر گرفتن نیاز آب اکولوژیکی مطلوب برای حفظ پتانسیل زیستگاه رودخانه دینور

محمدحسن نادری[1]*- نرگس عرب[2]- امید جهاندیده[3]- میثم سالاری‌جزی[4]- عاطفه عرب[5]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۲۵

چکیده

حفظ رژیم طبیعی جریان برای نگهداری سلامت اکوسیستم رودخانه، ضروری است. یکی از مهم‌ترین و در عین حال پیچیده‌ترین موضوعات در مدیریت حوضه آبخیز، تجزیه و تحلیل نیاز آبی محیط اکولوژیکی با پیوند چرخه هیدرولوژیکی و فرآیندهای هیدرودینامیکی با فرآیندهای اکولوژیکی آبزیان رودخانه، است. در این مطالعه، به منظور تعیین مقدار جریان رهاسازی از سد جامیشان با بررسی نیاز آبی اکولوژیکی رودخانه دینور در استان کرمانشاه با روش‌های هیدرولوژیکی تنانت، روش توزیع سالانه و تگزاس بر اساس آمار هیدرولوژیکی ایستگاه‌های هیدرومتری در طول دوره آماری ۳۸ ساله (۱۳۹۸-۱۳۶۰)، مدل شبیه‌سازی هیدرومورفواکولوژیکی - هیدرودینامیکی مطلوبیت زیستگاه (River2D) نیز مورد استفاده قرار گرفت و مطابق با آن یک روش طبقه‌بندی جدید رژیم جریان اکولوژیکی با توجه به شاخص‌های اکوهیدرولیکی مطلوبیت زیستگاه (عمق آب، سرعت جریان و بستر)، در نظر گرفته شد. همچنین در مدل اکوهیدرولیکی River2D، میزان مطلوبیت زیستگاه در دسترس گونه ماهی هدف، در محدوده ۱۰ تا ۲۰۰ درصد میانگین جریان سالانه، مورد بررسی قرار گرفت. بر پایه نتایج حاصله، نیاز آبی اکولوژیکی برآورد شده رودخانه دینور با ترکیب روش‌های مختلف، در طول سال متفاوت بوده و بر این اساس، برای حفظ شرایط مطلوب و حفاظت از اجزای اکوسیستم و زیستگاه جوامع بیولوژیکی، محدوده رژیم جریان موردنیاز برای تأمین پتانسیل اکولوژیکی زیستگاه بین ۰/۱۷ تا ۳/۷۱ مترمکعب برثانیه به ترتیب در ماه مهر و فروردین، با میانگین دبی سالانه زیستی ۱/۳۸ مترمکعب بر ثانیه (معادل ۸۸/۹ درصد جریان طبیعی رودخانه) بایستی در داخل رودخانه دینور و پایین دست سد جامیشان، برقرار باشد. همچنین مقایسه میزان تخصیص آب برای تأمین نیاز آبی اکولوژیکی قابل قبول با روش تنانت در رودخانه مورد مطالعه (۰/۳ متر مکعب برثانیه) نشان داد، کمبود جریان در فصول تابستان (جریان طبیعی رودخانه کمتر از نیاز آبی اکولوژیکی است) مشاهده می‌شود. در نهایت این نتیجه به عمل آمد که روش‌های دیگر تأمین نیاز آبی اکولوژیکی (تگزاس و شبیه‌سازی زیستگاه به ترتیب با مقادیر ۰/۸۹ و ۱/۳۸ مترمکعب بر ثانیه)، مقادیر بالاتر از ۳۰ درصد میانگین جریان سالانه را فراهم می‌کند، که محافظت بهتر جریان را برای زیستگاه رودخانه فراهم می‌کنند. شایان ذکر است، با تأمین عمق آب و سرعت جریان مناسب، میزان فضای مطلوب زیستگاهی و نیازهای اکولوژیکی آبزیان در رودخانه دینور با در نظر گرفتن همبستگی لازم بین مشخصه‌های هیدرومورفواکولوژیکی، اکوهیدرولیکی و هیدرولوژیکی طی فعالیت‌های زیستی آبزیان فراهم شده و از این منظر مدل‌سازی اکوهیدرودینامیکی زیستگاه آبزیان می‌تواند نقش مهم و بارزی در مدیریت اکوسیستمی و تنظیم جریان درون رودخانه‌ای ایفا نماید.

واژه‌های کلیدی: اکوهیدرودینامیکی، رژیم جریان طبیعی، مساحت قابل استفاده وزنی، مطلوبیت زیستگاه، هیدرومورفواکولوژیکی

مقدمه

در اکثر نقاط جهان به دلیل عدم توازن مکانی و زمانی بین دسترسی به منابع آب و تقاضا برای مصرف آن، نیاز به ذخیره و تنظیم جریان طبیعی با ساخت سازه‌های هیدرولیکی مانند سدها انجام

۱، ۲، ۳ و ۴- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد مهندسی منابع آب، دانشجوی دکتری آمایش محیط زیست، دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی و دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
(*- نویسنده مسئول: Email: naderigau@gmail.com)
۵- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی سازه‌های آبی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد

DOI: 10.22067/jsw.2021.67061.0

می‌شود. پذیرفتنی است که ساخت و بهره برداری از مخزن سد به دلیل کنترل سیل، تولید برق، تسهیل تأمین آب شهری و روستایی و آبیاری مزارع کشاورزی، سبک زندگی مطلوبی را به بشر می‌بخشد. با این حال ، اثرات زیست‌محیطی برگشت‌ناپذیری را بر اکوسیستم رودخانه‌های شکننده جهان به‌وجود آورده است (۱، ۱۷ و ۲۱). مطالعات اکوهیدرولیکی در کشورهای مختلف، عواقب منفی تغییرات در الگوهای زمانی رژیم‌های رودخانه‌ای ناشی از سدسازی و شیوه‌های تنظیم جریان را موجب فقدان جریان‌های حداکثر در رودخانه‌ها و با از بین رفتن زیستگاه‌های رودخانه‌ای، مرتبط می‌دانند (۲، ۲۰، ۳۴ و ۳۷). قطع ارتباط زیستی و ژنتیکی گونه‌های بالادست و پایین‌دست سد (در صورت عدم وجود سازه راه‌ماهی)، تغییرات بستر رودخانه و در پی آن تغییر در زیستگاه آبزیان، از جمله تغییرات منفی ناشی از سد و نگهداشت آب رودخانه‌ها است (۱، ۱۸، ۲۰ و ۳۶). از این رو تغییرات در رژیم‌های جریان می‌تواند بسیاری از ویژگی‌های زیستگاه رودخانه را تغییر دهد و به پیوستگی اکوسیستم، آسیب رساند. به عقیده بسیار از محققان، یکی از چالش‌های اصلی در مدیریت اکوسیستمی رودخانه، این است که در تعیین مقدار جریان رهاسازی از سد به تأمین جریان زیست‌محیطی به‌دلیل نداشتن صرفه اقتصادی بالا، توجه کافی نمی‌شود (۶، ۲۰، ۳۱ و ۳۴). از طرفی، پویایی اکولوژیکی رودخانه وابسته به تغییر جریان رودخانه با گذشت زمان و میزان ناپایداری مورفولوژیکی است (۷، ۲۴ و ۲۵). تنظیم جریان در زیرشاخه‌های رودخانه، باعث تغییر انرژی جریان و ظرفیت حمل مواد معلق نیز می‌شود (۳۸ و ۴۰). ذکر این نکته این لازم و مبرم است که اگر در پایین‌دست سدها، آب به صورت پیوسته برای حفظ شرایط زیستگاه‌های موجودات وابسته به آب به صورت ثابت جریان یابد، به مرور تغییراتی در بستر رودخانه به دلیل سرعت کم و ایجاد رسوب، به‌وجود خواهد آمد و این خود عاملی در جهت کاهش ظرفیت عبور آب از رودخانه، خواهد بود و از سوی دیگر یکی از شرایط لازم برای حفظ شرایط هیدرولیکی زیستگاه و ماندگاری موجودات زنده، نگهداری شکل فیزیکی آن بوده تا انباشته شدن رسوب و هجوم گیاهان به درون آبراهه اصلی، زیستگاه رودخانه را از بین نبرد (۱۷، ۲۴، ۲۵، ۳۹ و ۴۰). همچنین برای دستیابی به توسعه پایدار منابع آب، تأثیر جنبه‌های مختلف رژیم طبیعی جریان رودخانه در تعیین نیاز جریان مطلوب اکولوژیکی در چارچوب پروژه های سد و نیروگاه برقابی در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب، تأکید سریع بر مدیریت اکوسیستمی رودخانه‌های تنظیم شده باید در نظر گرفته شود (۲، ۱۷، ۱۸ و ۳۷) تا تعادل بهتری بین جنبه‌های تأمین نیازهای زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی برقرار و منجر به کارایی مخزن سد و مدیریت اکوسیستمی رودخانه گردد.

نیاز آبی جریان اکولوژیکی[1] (۲۱) یا به بیان دیگر جریان زیست‌محیطی، میزان گردش مقدار آب مورد نیاز برای حفظ محیط اکولوژیکی رودخانه، حفظ شرایط بهینه مورفولوژیکی و ساختار آبراهه، حفاظت از پوشش گیاهی آبزی و کنار رودخانه‌ای و همچنین حفظ شرایط مطلوب بیولوژیکی و مورفولوژیکی برای دوره‌های مختلف زندگی ماهیان است (۱۳، ۱۴، ۱۹، ۳۲ و ۳۸). روش‌های اصلی برای محاسبه نیاز آبی اکولوژیکی، شامل روش‌های مختلف هیدرولوژیکی، هیدرولیکی، روش‌های زیستگاهی و جامع است که در نگاهی کلی می‌توان بیان کرد اکثر این روش‌ها برای حفظ اکوسیستم‌های رودخانه‌ای و خصوصا محیط زندگی ماهیان تولید و توسعه داده شده‌اند (۳، ۵، ۷، ۱۰، ۳۱ و ۳۸). روش‌های هیدرولوژیکی با استفاده از داده‌های هیدرولوژیکی، میزان نیاز آبی محیط اکولوژیکی را تعیین می‌کنند (۱۵، ۲۳ و ۲۹). روش تنانت[2] که به روش مونتانا نیز معروف است (۳۵)، اولین روش هیدرولوژیکی که بر اساس تجزیه و تحلیل فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی ۱۱ رودخانه در ایالات متحده آمریکا ارائه شده است و در سراسر جهان کاربرد گسترده‌ای دارد. متوسط جریان سالانه[3]، شاخص تعیین میزان نیاز آبی اکولوژیکی، در این روش است. سپس از دیگر روش‌های هیدرولوژیکی، از جمله روش تگزاس[4] (۳)، روش محدوده تغییرپذیری (۲۹) نیز پیشنهاد و به کار گرفته شدند. روش‌های هیدرولیکی مانند روش R2CROSS (۵) و روش محیط خیس شده (۱۰) نیاز آب اکولوژیکی را بر اساس پارامترهای خاص هیدرولیکی تعیین می‌کنند و از سوی دیگر می‌توان گفت روش‌های هیدرولیکی عملا پیشگامان مدل‌های پیشرفته مورد استفاده برای شبیه‌سازی محیط‌های بیولوژیکی هستند که از مدل‌های هیدرولیکی به عنوان جزئی اصلی در کنار داده‌های محیط اکولوژیکی-بیولوژیکی استفاده می‌کنند (۱۰، ۳۱ و ۳۷). در همین راستا، شکل هندسی مقاطع رودخانه در طراحی، برنامه‌ریزی و ساماندهی رودخانه و همچنین شبیه‌سازی زیستگاه[5] آبزیان، اهمیت اساسی دارد. از سال ۱۹۸۰ میلادی، مدل‌های مطلوبیت فیزیکی زیستگاه توسعه داده شده و در مدیریت زیستگاه رودخانه مورد استفاده قرار گرفته‌اند. به عنوان نمونه، مدل شبیه‌سازی فیزیکی زیستگاه (PHABSIM)، CASIMIR ،EVHA، مدل هیدرومورفواکولوژیکی MesoHABSIM و مدل دوبعدی اکوهیدرودینامیکی River2D، در روابط بین شرایط زیستی گونه‌های آبزیان و شرایط رژیم جریان رودخانه، مورد کاربرد قرار گرفته‌اند (۱۲، ۱۳، ۱۸، ۲۱، ۲۲ و ۳۶).

1- Instream Ecological Water Demand
2- Tennant
3- Mean Annually Flow: MAF
4- Texas
5- Habitat Simulation

روش‌های زیستگاهی، محدوده نیاز آب اکولوژیکی را با تجزیه و تحلیل روابط بین عمق آب، سرعت جریان، ساختار بستر رودخانه و دبی تعیین می‌کنند (۷، ۱۳ و ۳۳) و از جمله این مدل‌ها، اجرای روش افزایشی جریان جاری آبراهه‌ای[1] است (۱۲ و ۱۵) که به عنوان ابزاری قدرتمند و یک روش جامع‌نگر برای بررسی نیاز درون رودخانه‌ای و مدیریت‌های مختلف جریان، شبیه‌سازی کمیت و کیفیت زیستگاه و کمی‌سازی تاثیرات بیولوژیک تغییرات جریان رودخانه، می‌پردازد (۲۲ و ۳۸).

بررسی برخی مطالعات نشان می‌دهد در مدیریت بوم‌سازگان‌های رودخانه‌ای، روش‌های شبیه‌سازی زیستگاه در عین اعتبار بالا در سطح جهان، نیازمند فراهم کردن داده‌های اکولوژیکی و در نظر گرفتن شاخص‌های اکوهیدرولیکی در تخمین میزان جریان‌های اکولوژیک مورد نیاز برای تأمین شرایط مطلوب زیستگاه ماهیان تجدید حیات طبیعی اکوسیستم رودخانه می‌باشد (۱۲، ۱۸، ۲۶، ۳۷ و ۴۰). با این حال، در برخی تحقیقات عنوان شده است، در صورت عدم وجود داده‌های هیدرولوژیکی، می‌توان روش‌های مختلفی را برای تعیین آب اکولوژیکی به منظور دستیابی به نتایج بسیار معتبر، ترکیب کرد (۱۸، ۲۱، ۲۵ و ۳۹). از منظری دیگر، برخی از پژوهشگران، مفهوم «رژیم طبیعی جریان[2]» را برای حفظ سلامت اکوسیستم آبزیان، حفظ تنوع زیستی آبزی و یکپارچگی اکوسیستم در رودخانه‌ها، مفید و سودمند قلمداد می‌نمایند (۱۴ و ۳۲) و بر این اساس، می‌توان «رژیم طبیعی جریان» را شامل رژیم جریان در ۳ حالت وقوع جریان کم‌آبی، وقوع جریان پرآبی و وقوع جریان سیلابی، دانست (۱۴). در آخرین مطالعات صورت گرفته، برخی از پژوهشگران، روش‌های تعیین نیاز آبی اکولوژیکی را در ۲ دسته کلی، «رویکرد رژیم طبیعی جریان» و «رویکرد طراحی رژیم جریان»، در نظر گرفته‌اند (۱۸، ۲۵، ۳۴ و ۴۰).

در چند سال اخیر در تحقیقات مختلفی، استفاده از رویکردهای هیدرولوژیکی به منظور تعیین جریان اکولوژیکی در رودخانه‌های ایران، به طور چشم‌گیری مورد توجه قرار گرفته است که می‌توان به مطالعه مصطفوی و یاسی (۲۳)، پژوهش اسماعیلی و همکاران (۴)، تحقیق ختار و شکوهی (۱۵)، پژوهش سرچشمه و همکاران (۳۰)، تحقیق نادری و همکاران (۲۵) و همچنین مطالعه فرهادیان و همکاران (۶)، اشاره کرد. اما مطالعات انجام شده نقطه ضعف‌های غیرقابل انکاری در تخمین تخصیص رژیم جریان اکولوژیکی رودخانه دارد. در سال‌های اخیر استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی زیستگاه در مطالعات بررسی مطلوبیت زیستگاه ماهیان و برآورد رژیم جریان ایده‌آل اکولوژیکی رودخانه‌ها، مورد توجه پژوهشگران مختلف قرار گرفته است، از جمله می‌توان به مطالعه لی و همکاران (۱۹) در برآورد جریان اکولوژیکی رودخانه لیجیانگ چین با در نظر گرفتن مقدار و کیفیت زیستگاه ماهیان بومی در مراحل رشد و تخم‌ریزی با ایجاد رابطه بین رژیم جریان و مدل مطلوبیت زیستگاه، پژوهش هولمز و همکاران (۱۲) در برآورد جریان زیست‌محیطی در رودخانهٔ تنظیم نشده[3] بیگ‌سور کالیفرنیا با مدل‌سازی دوبعدی هیدرودینامیکی زیستگاه River2D، تحقیق جانستون و همکاران (۱۳) در بررسی زیستگاه‌های مناسب تخم‌ریزی ماهیان رودخانه پنوبسکات آمریکا با توجه به شاخص‌های اکوهیدرولیکی و مدل شبیه‌سازی اکوهیدرودینامیکی مطلوبیت زیستگاه River2D، پژوهش نادری و همکاران (۲۴) در تخمین میزان جریان اکولوژیکی مورد نیاز در دوره‌های مختلف زندگی گونه شاخص ماهی و تحلیل وضعیت اکوسیستم رودخانه زرین‌گل با درنظر گرفتن شاخص‌های اکوهیدرولیکی و کاربرد مدل River2D، و همچنین مطالعه ژو و همکاران (۴۰) در مطالعه حفاظت زیستگاه‌های ماهی در رودخانه‌های کوهستانی و برآورد میزان جریان اکولوژیکی مطلوب با کاربرد مدل شبیه‌سازی دوبعدی اکوهیدرودینامیکی River2D و محاسبه مساحت قابل استفاده وزنی[4] برای ارزیابی اثرات مختلف احیای زیستگاه رودخانه تنظیم نشده هیشوی در جنوب‌غربی چین، اشاره کرد که نتایج بررسی این تحقیقات بر این دلالت دارد که مدل‌های شبیه‌سازی زیستگاه، عملکرد قابل قبولی در محاسبه میزان نیاز آب اکولوژیکی مورد نیاز جوامع آبزی داشته اند.

از آنجا که با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی مطلوبیت زیستگاه، تغییرات منطقه قابل استفاده وزنی در رودخانه و اثر نوسان‌های جریان سالانه بر زیستگاه آبزیان رودخانه، دقیق‌تر و واضح‌تر مشخص می‌شود (۷، ۱۳، ۲۰ و ۲۵)، استفاده از این مدل‌ها مانند مدل اکوهیدرودینامیکی River2D، برای بهبود وضعیت زیستی رودخانه‌ها و انجام تحقیقات متعدد با استفاده از مدل‌های مختلف اکوهیدرولیکی- هیدرومورفواکولوژیکی و مقایسه نتایج آنها در کشور، احساس می‌شود. در دهه اخیر برخی از سدهای بزرگ برای تولید انرژی، کنترل سیلاب، تأمین آب آشامیدنی و اهداف آبیاری بر روی رودخانه‌های استان کرمانشاه ساخته شده است. سد جامیشان از جمله سدهای پر اهمیت و استراتژیک در زمینه تأمین منابع آبی استان کرمانشاه است. احداث این سد، در راستای دستیابی به اهداف توسعه اقتصاد ملی و به منظور استفاده بهینه از پتانسیل‌های منابع آب سطحی رودخانه دینور و نیز استراتژی کنترل سیلاب‌های فصلی، تأمین نیاز کشاورزی شبکه آبیاری جامیشان و نازلیان و نیز به عنوان

1- Instream Flow Incremental Methodology: IFIM
2- Natural Flow Regime
3- Unregulated river
4- Weighted Usable Area: WUA

یک جاذبه گردشگری، مطرح می‌باشد.در این پژوهش با توجه به مطالعات گسترده میدانی و کتابخانه‌ای، سعی می‌شود با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی تنانت، روش توزیع سالانه[1] و تگزاس و مدل اکوهیدرودینامیکی شبیه‌سازی مطلوبیت زیستگاه و با درک مشخصه‌های اکولوژیکی- اکوهیدرولیکی و هیدروموروفواکولوژیکی رژیم جریان و نیز پویایی جمعیت ماهیان، جهت برآورد محدوده جریان رهاسازی بهینه از سد جامیشان و تحلیل سناریوهای نیاز آب اکولوژیکی برای حفظ پتانسیل مطلوب رودخانه دینور در پایین‌دست سد، راهکارهای مفید و موثر برای حفظ شرایط بهینه مورفولوژیکی و ساختار آبراهه، آماده‌سازی بستر رودخانه برای تخم‌ریزی ماهیان، جریان مورد نیاز برای حفاظت از پوشش گیاهی آبزی و کنار رودخانه‌ای، معرفی نماید.

مواد و روش‌ها

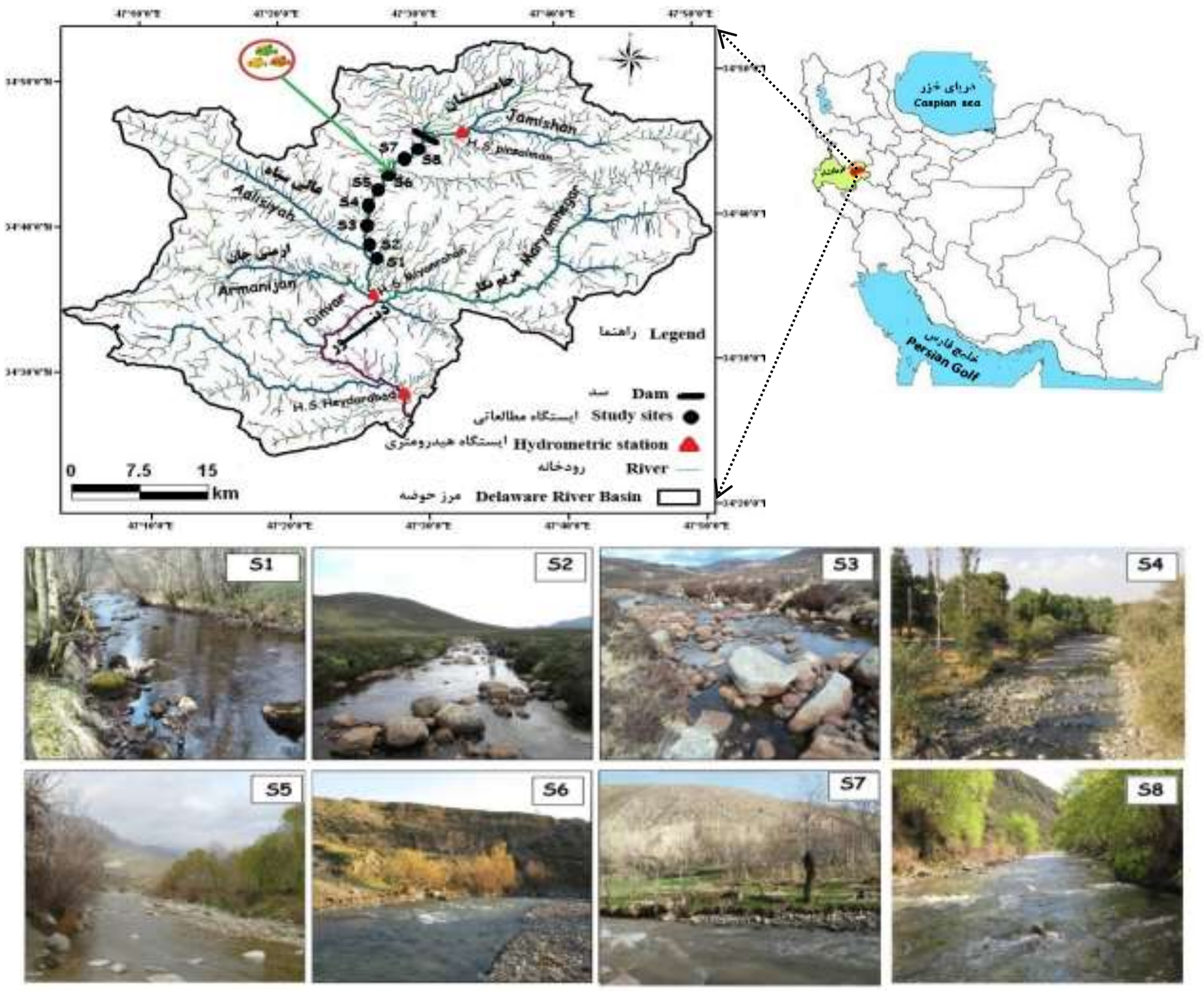
منطقۀ مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، رودخانه دینور از شاخه‌های مهم و نسبتاً پرآب رودخانه گاماسیاب، واقع در حوضه آبخیز دینور با وسعتی در حدود ۱۷۱۸ کیلومترمربع در شمال شرق استان کرمانشاه است که بین مختصات جغرافیایی '۷ °۴۷ تا '۴۲ °۴۷ طول شرقی و '۳۳ °۴۳ تا '۵۲ °۳۶ عرض شمالی، گسترده شده است. حداقل ارتفاع حوضه آبخیز دینور، ۱۳۳۶ متر در زیرحوضه غربی و حداکثر ارتفاع آن، ۳۲۷۷ متر در زیرحوضه شرقی با میانگین ارتفاعی ۱۸۷۱ متر است که قسمت بیشتر آن در مناطق کوهستانی واقع گردیده و همچنین بخش بزرگی از حوضه آبخیز دینور، شیبی بیشتر از ۱۷ درصد دارد. میانگین بارش سالانه در حوضۀ آبخیز دینور طی دوره ۲۵ ساله، ۵۴۹ میلیمتر و دمای سالانه، ۱۵/۲ درجه سانتیگراد است. بر اساس اقلیم نمای کوپن اقلیم حوضه آبخیز دینور، معتدل تا سرد است (۱۱ و ۲۷). شکل ۱، نقشه منطقه مورد مطالعه، موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری و سیمای کلی رودخانه دینور در بازه‌های مطالعاتی را نشان می‌دهد. رودخانه دینورآب در مسیر شمال به جنوب با طول تقریبی ۵۲ کیلومتر جریان داشته، رژیم آبی آن برفی- بارانی و دائمی و دوران پرآبی آن، فصل بهار بوده، و همچنین ایستگاه‌های هیدرومتری واقع در مسیر رودخانه، پیرسلمان، میانراهان و حیدرآباد می‌باشد. از مهم‌ترین رودخانه‌های حوضه آبخیز دینور می‌توان به رودخانه عالی‌سیاه، رودخانه ارمنی‌جان، رودخانه جامیشان که سرشاخه اصلی دینور است و نیز به رودخانه مریم‌نگار، اشاره کرد.

محدوده مورد مطالعه، بازه‌ای از رودخانه دینور، از پایین‌دست سد جامیشان تا محل تلاقی دیگر سرشاخه‌های رودخانه (میان‌راهان) که دارای ارزش زیستگاهی است (بازه‌ها در محدوده ایستگاه‌های هیدرومتری در نظر گرفته شدند)، می‌باشد. قسمت بالادست رودخانه دینور در نزدیکی سد مخزنی جامیشان واقع شده است. سد مخزنی جامیشان با حجم نرمال ۵۲ میلیون مترمکعب که بر روی رودخانه جامیشان در شهرستان سنقروکلیایی به عنوان یکی از بزرگترین طرح‌های تنظیم و انتقال آب در استان کرمانشاه ساخته شده است، در سال ۱۳۹۵ آبگیری و در سال ۱۳۹۷ مورد بهره برداری قرار گرفت. هدف از اجرای این سد، تنظیم و ذخیره آب رودخانه جامیشان جهت آبیاری حدود ۲۸۰۰ هکتار اراضی دشت دینور و تنظیم حقابه ۷۶۰ هکتار از اراضی دشت چمچمال، تامین آب صنایع منطقه،کنترل سیلاب و توسعه صنعت گردشگری و بهبود محیط زیست منطقه می‌باشد. رودخانه مورد مطالعه، به دلیل تأمین آب موردنیاز منطقه برای آبیاری کشاورزی، گردشگری و نیز مطالعات بیوسیستماتیک جانوری حائز اهمیت بوده و مکان مناسبی برای تخم‌ریزی و پرورش ماهی‌ها و دیگر آبزیان بومی منطقه است. همچنین بستر این رودخانه در طول مسیر، سنگی و ماسه‌ای بوده و در حاشیه‌ها، دارای پوشش گیاهی با غالبیت گونه‌های جنس میریوفیلوم می‌باشد. از گونه‌های ماهیان منطقه می‌توان به خانواده کپورماهیان و گونه‌های خانواده سگ‌ماهیان جویباری اشاره کرد (۸ و ۲۸).

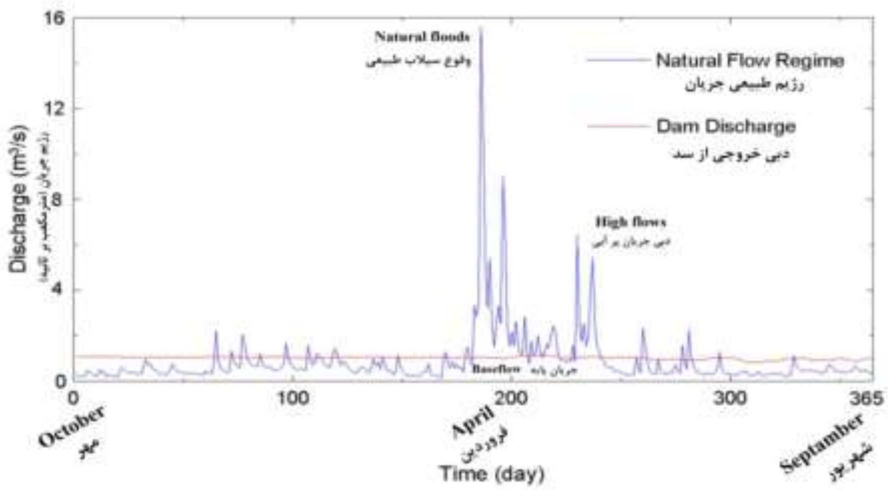
به منظور تحلیل نوسانات و تغییرپذیری آب رودخانه از نظر زیست‌محیطی، آمار و اطلاعات دبی رودخانه مورد مطالعه، از شرکت آب منطقه‌ای استان کرمانشاه دریافت شد. شکل ۳، رژیم طبیعی جریان رودخانه دینور در طی دوره آماری ۳۷ ساله (۱۳۹۷-۱۳۶۰) و دبی جریان رهاسازی از سد جامیشان پس از بهره‌برداری (۱۳۹۸-۱۳۹۷) را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که در زمان انجام این تحقیق، تنها یکسال آمار از مقادیر جریان رهاسازی این سد، در دسترس بود. در شکل ۲ ملاحظه می‌گردد که رژیم طبیعی جریان دارای ۳ حالت جریان کم آبی، جریان پرآبی و جریان سیلابی است. مناسب‌ترین بخش داده‌های هیدرولوژیکی که برای ارزیابی جریان زیست‌محیطی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد، دبی متوسط روزانه و ماهانۀ مشاهده شده در دوره‌های بلندمدت ایستگاه‌های هیدرومتری است. برای انجام محاسبات هیدرولوژیکی در حوضۀ رودخانۀ دینور از داده‌های دبی ایستگاه هیدرومتری پیرسلمان در بالادست رودخانه دینور و سد جامیشان به عنوان ایستگاه شاخص در برآورد پتانسیل طبیعی جریان رودخانه دینور، در طول دوره آماری ۳۸ ساله (۱۳۹۸- ۱۳۶۰)، و ایستگاه هیدرومتری میان‌راهان در پایین‌دست سد جامیشان پس از بهره‌برداری از سد، استفاده شده است.

1- Annual Distribution Method: ADM



شکل ۱- موقعیت حوضه آبخیز دینور، منطقه مورد مطالعه و نمایی از رودخانه به همراه موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری

Figure 1- Location of the watershed Dinavar river, study area and view of the river with location of sampling stations



شکل ۲- رژیم طبیعی جریان رودخانه دینور و دبی رهاسازی از سد جامیشان

Figure 2- The natural flow regime Dinavar river and discharge from Jamishan dam

روش‌های تعیین نیاز آب اکولوژیکی

پرکاربردترین روش هیدرولوژیکی برای تعیین جریان درون رودخانه‌ای مورد نیاز ماهی‌ها، روش «تنانت» می‌باشد. تنانت (۳۵) جریان‌های مشخصی که هر یک معرف کیفیت زندگی ماهیان بودند را در قالب سه پارامتر عمق، سرعت و درصد محیط خیس شده همراه با ملاحظات بیولوژیکی و مورفولوژیکی برای زندگی ماهیان به صورت زیستگاه بقای کوتاه مدت، زیستگاه حیاتی و زیستگاه عالی برای بقاء، تعریف کرد. زیستگاه بقای کوتاه‌مدت، با حفظ ۱۰ درصد جریان متوسط سالانه تأمین می‌شود. زیستگاه حیاتی، در ۳۰ درصد جریان متوسط سالانه و زیستگاه عالی برای حیات، در جریان‌های بیش از ۶۰ درصد متوسط سالانه فراهم می‌شوند (۳۱، ۳۵ و ۳۹). روش «تگزاس» دیگر روش هیدرولوژیکی در واقع برگرفته از روش تنانت بوده که توسط اداره حیات وحش و پارک‌های تگزاس، توسعه یافته است و برای رودخانه‌هایی که گونه جانوری شاخصی دارند و زنجیره غذایی آنها شناخته شده است، به کار برده می‌شود. در این روش درصدهای متغیری از میانگین ماهانه جریان برای تعیین نیاز آب اکولوژیکی به کار می‌رود. این روش در برابر روش‌های اولیه یک روش پیشرفته است چرا که اولین روش از روش‌های هیدرولوژیکی است که درصد جریانات ماهانه را به‌عنوان متغیری از مشخصه‌های بیولوژیکی (دوره تخم‌ریزی، مهاجرت و ...) و ویژگی‌های هیدرولوژیکی منطقه‌ای (جریانات ماهانه با تغییرات شدید با چولگی مثبت) در نظر می‌گیرد (۳، ۱۵، ۲۵ و ۳۱). در روش تگزاس، ۴۰ درصد میانگین جریان ماهانه برای ماه‌های اکتبر تا فوریه (مهر- بهمن) و ۶۰ درصد میانگین جریان ماهانه برای ماه‌های مارس تا سپتامبر (اسفند - شهریور) به عنوان جریان حداقل برای حفاظت از بوم‌سازگان رودخانه‌ها در نظر گرفته می‌شود (۲۵ و ۳۱). «روش توزیع سالانه» بر اساس شاخص متوسط نسبت حداقل دبی سالانه و میانگین دبی سالانه با توجه به داده‌های سری بلند مدت رژیم جریان طبیعی ماهانه ایستگاه هیدرومتری، فرض می‌کند که حداقل دبی ماهانه رودخانه می‌تواند نیازهای اساسی جریان اکولوژیکی برای حفظ عملکرد ضروری محیط زیست را تأمین و یک محیط مناسب برای فعالیت جوامع ماهیان در درون رودخانه، فراهم نماید. در روش توزیع سالانه، نیاز آبی اکولوژیکی هر ماه، از حاصل‌ضرب میانگین جریان ماهانه و شاخص متوسط نسبت حداقل دبی سالانه به میانگین دبی سالانه، تعیین می‌گردد (۳۴ و ۳۷).

مدل شبیه‌سازی زیستگاه

به منظور ارزیابی اکوسیستم رودخانه و شبیه‌سازی زیستگاه‌های رودخانه‌ای، روش‌های زیادی مورد استفاده قرار می‌گیرد. شبیه‌سازی کمیت و کیفیت زیستگاه و کمی‌سازی تاثیرات بیولوژیک تغییرات جریان، یکی از جنبه‌های مهم در روش افزایشی جریان جاری آبراهه و به عنوان ابزاری قدرتمند و یک روش جامع‌نگر برای بررسی نیاز درون رودخانه‌ای و مدیریت‌های مختلف جریان، محسوب می‌گردد (۷، ۱۳، ۲۰ و ۲۵). یکی از برنامه‌های شناخته شده‌ای که برای شبیه‌سازی دوبعدی استفاده می‌شود، مدل اکوهیدرولیکی- اکوهیدرودینامیکی River2D، توسعه یافته توسط استفلر و بلکبرن (۳۳) در دانشگاه آلبرتا[1] کانادا می‌باشد. مدل River2D یک مدل دوبعدی هیدرودینامیک با روش اجزای محدود بوده و اساس آن بر استفاده از متوسط متغیرها در عمق استوار می‌باشد. مدل مزبور توانایی شبیه‌سازی جریان‌های ماندگار و غیرماندگار را دارد. یادآور می شود که در مطالعه حاضر، شبیه‌سازی هیدرولیکی جریان در حالت ماندگار و یکنواخت، در نظر گرفته شد. تئوری مورد استفاده در شبیه‌سازی زیستگاه در این مدل بدین صورت است که از معیارهای مطلوبیت زیستگاه به‌عنوان رابط بین هیدرولیک رودخانه و زیستگاه موجودات آبزی استفاده می‌کند. پارامتر زیستگاه خروجی آن نیز مساحت قابل استفاده وزنی می‌باشد (۷، ۱۲ و ۴۰). همچنین مدل می‌تواند، مرزهای ورودی و خروجی چندگانه داشته باشد که باید جریان را در هر مرز ورودی مشخص کرد. اگر رودخانه سرشاخه‌های متعددی داشته باشد، بایستی ورودی را برای هر سرشاخه وارد کرد. در منابعی مانند (۲۴)، (۲۶) و (۳۳) شرح تفصیلی این مدل آمده است.

مدل شاخص مطلوبیت زیستگاه[2]

بررسی بیولوژی و اکولوژی زیستگاه ماهیان در رودخانه، یکی از موضوعات مورد توجه در مدیریت منابع آبی است. روش افزایشی جریان جاری آبراهه‌ای یک روش تحقیقاتی زیستگاهی است که معمولاً برای شبیه‌سازی رابطه کمی بین جریان و در دسترس بودن زیستگاه‌های آبزی مورد استفاده قرار گیرد. شاخص مطلوبیت زیستگاه به عنوان یک فناوری کلیدی از روش افزایشی جریان درون رودخانه‌ای، می‌تواند به‌طور کمی رفتار خاص یک گونه را توصیف کند (۹، ۱۹، ۲۰ و ۲۲). شاخصی که معمولاً استفاده می‌شود منحنی مطلوبیت متغیر منفرد است، که مقدار مناسب بودن زیستگاه ماهی را بین ۰ تا ۱، تعریف می‌کند. که در آن ۰، نامناسب‌ترین زیستگاه (زیستگاه خیلی نامطلوب) و ۱، مناسب‌ترین زیستگاه (زیستگاه خیلی مطلوب) است. شاخص مطلوبیت زیستگاه دارای ۴ سطح مختلف (۰/۷۵<HSI≤۱ خیلی مطلوب؛ ۰/۵<HSI≤۰/۷۵ مطلوب؛ ۰/۲۵<HSI≤۰/۵ نامطلوب؛ ۰≤HSI≤۰/۲۵ خیلی نامطلوب) می‌باشد

1- Alberta
2- Habitat Suitability Index:HSI

(۱۹، ۲۲ و۳۶). پس از ایجاد منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه برای هر یک از مولفه‌های فیزیکی زیستگاه، شاخص‌های مطلوبیت برای بدست آوردن شاخص مطلوبیت ترکیبی[1] با هم ادغام می‌شوند (مقدار شاخص مطلوبیت ترکیبی، از رابطه (۱) به‌دست می‌آید). مدل River2D با شبیه‌سازی رابطه مطلوبیت گونه‌های شاخص با فاکتورهای جریان، مساحت قابل استفاده وزنی (میزان زیستگاه مطلوب در دسترس) را محاسبه می‌کند. مساحت قابل استفاده وزنی، حاصل از شاخص مطلوبیت ترکیبی و مساحت هر بازه زیستگاه می‌باشد (رابطه ۲).

$$CSI = SI_d \times SI_v \times SI_b \quad (۱)$$

$$WUA = \sum_{i=1}^{n} A_i \times CSI_i = f(Q) \quad (۲)$$

که در روابط (۱) و (۲)، A_i: سطح هر بازه زیستگاهی، CSI_i شاخص مطلوبیت ترکیبی، WUA (مساحت قابل استفاده وزنی) تابعی از Q (دبی جریان) و SI_i شاخص مطلوبیت هر متغیر (عمق، سرعت و بستر) می‌باشند.

در این مطالعه با استفاده از نقشه توپوگرافی رودخانه دینور و نرم افزار Arc-GIS، هندسه مدل رودخانه و مقاطع عرضی ایجاد شد و سپس داده‌های هندسی مقاطع عرضی به‌دست آمده از اندازه‌گیری‌های میدانی و HEC-GeoRAS، به مدل HEC-RAS ارسال و شبیه‌سازی هیدرولیکی رودخانه انجام گرفت. در ادامه با استفاده از داده‌های عمق آب، سرعت جریان و تراز سطح آب تولید شده در مدل هیدرولیکی HEC-RAS و همراه با مشاهدات میدانی، وارد مدل River2D شده و شبیه‌سازی هیدرمورفولوژیکی-زیستگاهی رودخانه صورت گرفت. در مرحله بعد منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه برای دوره‌های مختلف زندگی سیاه‌ماهی خالدار در رودخانه دینور، تولید و توسعه داده شد. در نهایت منحنی‌های سری زمانی دبی-میزان مطلوبیت زیستگاه در دسترس (مساحت قابل استفاده وزنی) استخراج و با توجه به منحنی‌های استخراج شده، سناریوهای مختلف مدیریت جریان برای بهبود وضعیت زیستگاهی رودخانه، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

اندازه‌گیری و نمونه‌برداری پارامترهای اکولوژیکی و هیدرولیکی رودخانه

بررسی رودخانه در بازه‌های مختلف و از دشت‌های سیلابی تا کانال رودخانه، سبب درکی قوی از یکپارچگی این اکوسیستم‌های آبی می‌شود. در مطالعه حاضر، برای انجام محاسبات شبیه‌سازی مطلوبیت زیستگاه، گونه سیاه‌ماهی خالدار *Capoeta trutta* (Heckel, 1843) از رده ماهیان استخوانی حقیقی (Teleostei) و از خانواده کپورماهیان (Cyprinidae) به دلیل مهاجرت به سرشاخه‌های حوضه رودخانه دینور برای تخم‌ریزی در فصل بهار، به عنوان گونه هدف در نظر گرفته شد. سیاه‌ماهی خالدار در بخش‌هایی از رودخانه با عمق کمتر از ۱/۵ متر، با جریان سریع آب و بسترهای شنی-ماسه‌ای یا قلوه‌سنگی زندگی می‌کند. این ماهی برای مقاصد آبزی‌پروری، صید ورزشی و مطالعات جغرافیای جانوری دارای اهمیت بوده و در حوضه رودخانه‌های دجله و کارون پراکنش دارد (۱۶ و ۲۸).

به دلیل نیاز به منحنی‌های شاخص مطلوبیت، با بازدیدهای میدانی در طول ۱۸ کیلومتر از مسیر رودخانه دینور، اندازه‌گیری و بررسی پارامترهای اکولوژیکی، هیدرولیکی و هیدرومورفواکولوژیکی (مقاطع عرضی رودخانه شامل فاصله هر مقطع از مقطع پایین‌دست، موقعیت جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا با استفاده از سیستم موقعیت‌یاب جهانی، عمق آب با استفاده از خط‌کش مدرج فلزی (با دقت ۰/۵ سانتی‌متر)، عرض مقاطع با استفاده از مترنواری، سرعت جریان در نقطه بالادست و پایین‌دست مقطع با استفاده از سرعت‌سنج (مولینه صحرایی مدل MCF:DL با دقت ۰/۰۰۵ متر بر ثانیه) در ۰/۴ عمق آب به منظور به‌دست آوردن میانگین سرعت ستون آب در نقطه نمونه‌گیری، ساختار و پوشش بستر (قطر سنگ‌های غالب بستر رودخانه در پلات تصادفی)، ضریب مانینگ و شکل مورفولوژی زیستگاه (خیزاب[2] و گوداب[3]) در نقاط حضور ماهی، صورت پذیرفت (جدول ۱). در این راستا نمونه‌برداری از ماهیان (جهت تخمین سن و مرحله زندگی آن) به صورت نقطه‌ای و دقیق، با استفاده از تور سالیک با اندازه چشمه ۱۵ میلی‌متری، از پایین‌دست رودخانه دینور به سمت بالادست در ۸ ایستگاه، جهت تولید منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه ماهی سیاه‌ماهی خالدار در بهار، تابستان و پاییز سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷، انجام شد (داده‌ها برای ۱۴۸ نمونه سیاه‌ماهی خالدار با طول کل ۱۰-۲۵ سانتی‌متر، ثبت شد).

بازه‌های مشاهداتی و ایستگاه‌های مطالعاتی در نظر گرفته شده در این مطالعه، طولی از بازه رودخانه به صورت ضریبی از حداکثر عرض رودخانه (۱۰ تا ۲۰ برابر عرض خیس‌شده مقطع در بالادست و پایین‌دست) که در امتداد مسیر نسبتاً مستقیم رودخانه واقع و بر اساس فاکتورهایی شامل قرار داشتن مرزهای محدوده مطالعاتی تحت تأثیر رژیم جریان (با بررسی نقشه توپوگرافی و نیز سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS و الحاقیه HEC-GeoRAS)، دارا بودن هیدروگراف یکسان در نواحی دارای شرایط مشابه هیدرولوژیکی، تنوع در ریخت‌شناسی رودخانه (عوارضی همچون پیچ‌وخم‌های مقاطع عرضی رودخانه، شیب و ساختار بستر، زیستگاه‌های قلوه‌سنگی و ایستگاه‌های گیاهی حاشیه رودخانه)، انتخاب شدند.

1- Combined Suitability Index:CSI

2- Riffle
3- Pool

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی و مشخصات ایستگاه‌های مطالعاتی در رودخانه دینور
Table 1- Geographic location and characteristics of studty stations in Dinavar river

ایستگاه Station	موقعیت جغرافیایی (Geographical Location)			پارامترهای محیطی (Environmental Parameters)			
	طول جغرافیایی Longitude	عرض جغرافیایی Latitude	ارتفاع از سطح دریا Above Sea Level (m)	سرعت Velocity (m/s)	عمق Depht (m)	عرض Width (m)	فرم مورفولوژی بستر Morphology substrate Form
S1	47° 25' 37"	34° 37' 41"	1324	0.52	0.58	3.43	Riffle
S2	47° 26' 47"	34° 37' 68"	1367	0.61	0.65	3.47	Riffle
S3	47° 27' 65"	34° 38' 58"	1384	0.33	0.51	4.65	Pool
S4	47° 28' 13"	34° 39' 28"	1418	0.36	0.51	5.15	Pool
S5	47° 30' 33"	34° 40' 36"	1438	0.74	0.65	3.65	Riffle
S6	47° 32' 65"	34° 41' 24"	1468	0.68	0.48	3.54	Riffle
S7	47° 33' 27"	34° 46' 41"	1487	0.43	0.63	3.38	Pool
S8	47° 33' 44"	34° 47' 22"	1512	0.63	0.41	3.28	Riffle

نتایج و بحث

مدیریت اکوسیستمی رودخانه دینور، نیاز بـه ابزارهـای ارزیـابی و حمایت از جوامع آبزی دارد که شامل حفاظت، احیا و بازطبیعی‌سازی و همچنین پیش‌بینـی شـرایط آینـده دارد. بنـابراین در مطالعـه حاضـر، تخصیص نیاز آبی اکولوژیکی، تنظیم، مقدار و زمان‌بندی آن بـا توجـه به نقش مؤثری که در ادامه فعالیت‌های موجود در زیست‌بـوم، بوجـود آوردن شرایط مناسـب بـرای تخـم‌ریـزی آبزیـان و احیـا اکوسیسـتم رودخانه دارد، مورد محاسبه و تحلیل قـرار گرفـت. در در ادامـه نتـایج بـرآورد مقـادیر ماهانـه نیـاز آبـی اکولـوژیکی رودخانـه دینـور بـرای روش‌های مختلف، ارائه شده است.

روش تنانت: روش تنانـت بـر اسـاس درصـدهایی از میـانگین جریان سالانه و در گروه‌های مختلفـی از بسـیار ضـعیف تـا محـدوده بهینه، تعریف شده است. نکته‌ای کـه بایـد در مـورد اسـتفاده از روش تنانت در رودخانه دینور مدنظر قرار گیرد این اسـت کـه بـه میـانگین سالانه جریان طبیعی رودخانه در زمان قبل از احداث سد نیاز اسـت و بر این اساس در روش تنانت، درصدها باید بـرای دوره قبـل از انجـام فعالیت‌های انسانی (احداث سد) و شروع تغییرات تعریف شـود کـه در این مطالعه از سال ۱۳۶۰ تا ۱۳۹۷ می‌باشد. میـانگین جریـان سـالانه برای این دوره برابر با ۱/۵۶ متر مکعب بر ثانیه است. بر این اساس با استفاده از روش تنانت، مقدار جریان زیست‌محیطی برای شرایط قابـل قبول زیستی، ۳۰ درصد متوسـط جریـان سـالانه بـرای فـروردین تـا شهریور (معادل ۰/۴۶ متر مکعب بر ثانیه) و ۱۰ درصد متوسط جریـان سالانه برای مهرماه تا اسفند (معادل ۰/۱۵ متر مکعب بر ثانیه) بـرآورد گردید (جدول ۲ و جدول ۵). طبق روش تنانت، ۱۰ درصد از میـانگین جریان سالانه، نشان‌دهنده حداقل حالت جریان بـرای حفـظ سـلامت اکوسیستم رودخانه است. تحت شرایط تخصیص ۱۰ درصـد میـانگین جریان سالانه، عمق و سرعت به طور قابل توجهی کـاهش مـی‌یابـد، یک سوم بستر نمایان شده و از طرفی پوشـش کـف آبراهـه کـاهش یافته و متناسب بـا آن، پـراکنش و حضـور ماهیـان در زیسـتگاه‌هـای گوداب بیشتر شده و در ایـن شـرایط عمـق کـم جریـان در زیسـتگاه خیزاب برای ماهیان با طول بیشتر، مانع حرکت و شنای آنها می‌گردد. همچنین در شرایط تخصیص ۳۰ درصد متوسط جریان سالانه، عرض مقطع، عمق آب و سرعت جریان برای پراکنش و حضـور ماهیـان در زیستگاه‌های گوداب و خیزاب، شرایط قابل قبولی را فـراهم مـی‌کنـد. کیفیت زیستگاه «قابل قبول یا عادلانه» برای تـأمین حـداقل جریـان جریان اکوسیستم رودخانه در مهر تا اسفندماه است. در طی فـروردین تا شهریورماه، کیفیت زیستگاهی که به عنوان «قابل قبول یا عادلانه» تعریف می‌شود، نیاز به حفظ شرایط مطلـوب بـرای موجـودات آبـزی دارد. کیفیت زیستگاه «عالی» زیستگاه خـوبی بـرای زنـدگی آبزیـان است. کیفیت زیستگاه«خوب» وضعیت زیستگاهی بـین «عادلانـه» و «عالی» است. نیاز آب اکولوژیکی بر اساس استاندارد روش تنانـت، در جدول ۲ نشان داده شده است که تقاضای شرایط مختلف اکوسیسـتم رودخانه دینور را نشان می دهد.

جدول ۲- نیاز آب اکولوژیکی برآورد شده رودخانه دینور با روش تنانت طی دوره های مختلف (مترمکعب برثانیه)
Table 2- Ecological water demand of Dinavar river by tennant method during different periods (m^3/s)

ماه Month	قابل قبول یا عادلانه Fair or degrading		خوب Good		عالی Excellent		ملاحظات Remarks
	10% MAF (7–12)	30% MAF (1–6)	20% MAF (7–12)	40% MAF (1–6)	30% MAF (7–12)	50% MAF (1–6)	
April فروردین	–	0.46	–	0.62	–	0.78	Fish spawning and nursery period دوره تخم‌ریزی و نوزادی ماهیان
May اردیبهشت	–	0.46	–	0.62	–	0.78	
June خرداد	–	0.46	–	0.62	–	0.78	
July تیر	–	0.46	–	0.62	–	0.78	
August مرداد	–	0.46	–	0.62	–	0.78	
September شهریور	–	0.46	–	0.62	–	0.78	
October مهر	0.15	–	0.31	–	0.46	–	General water utilization period دوره مصارف عمومی از آب
November آبان	0.15	–	0.31	–	0.46	–	
December آذر	0.15	–	0.31	–	0.46	–	
January دی	0.15	–	0.31	–	0.46	–	
February بهمن	0.15	–	0.31	–	0.46	–	
March اسفند	0.15	–	0.31	–	0.46	–	

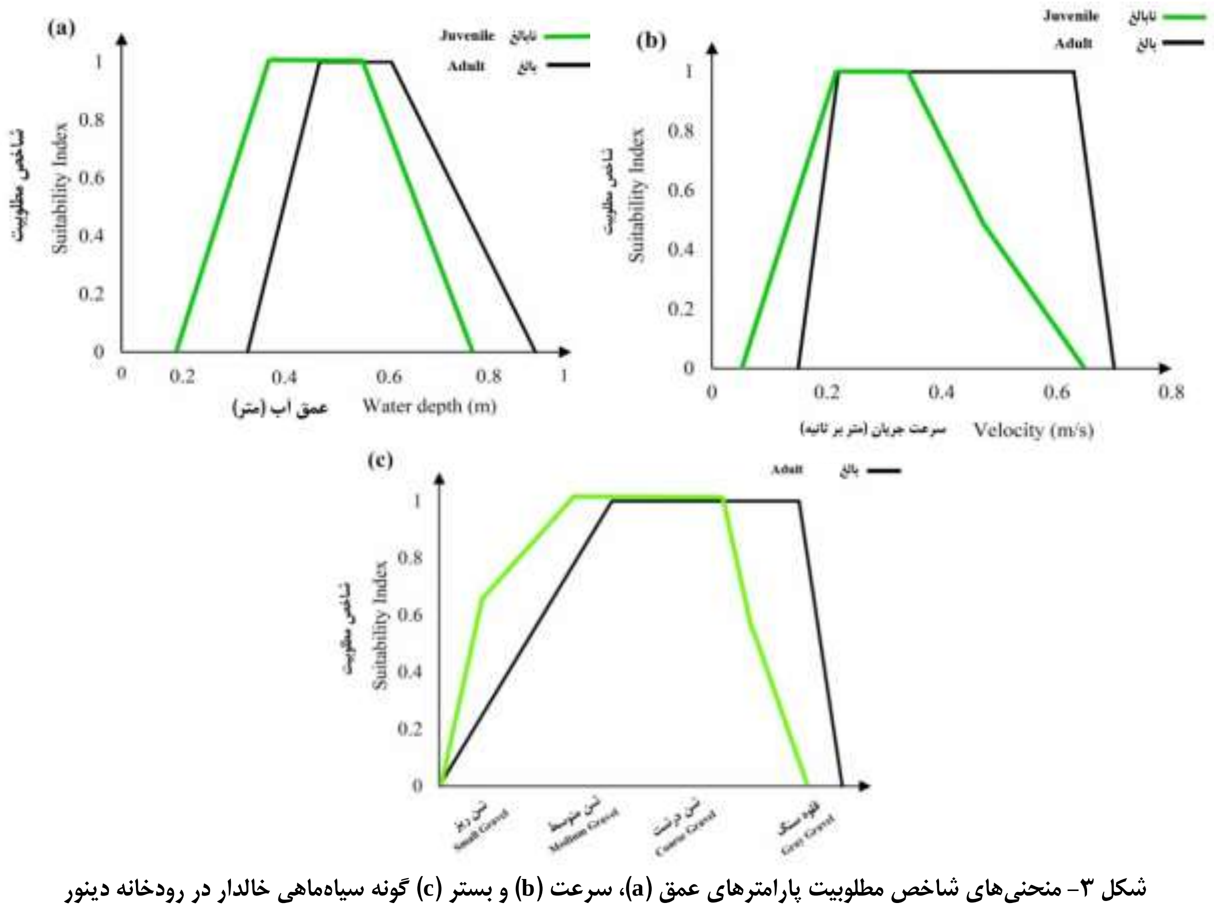
روش تگزاس: متوسط جریان زیست‌محیطی سالانه برآورد شده توسط روش تگـزاس، ۱/۱۸ مترمکعـب بـر ثانیـه، معـادل ۵۵ درصـد متوسط جریان سالانه می‌باشد. روش تگزاس را می‌توان برای رودخانه دینور، روش نسبتاً مناسبی دانست، زیرا در این روش، احتمـال تجـاوز جریان‌های ماهانه پیشنهادی در ماه‌های کم‌آبی، بیشـتر از ۴۰ درصـد می‌باشد و جریان پیشنهادی در این ماه‌ها تطابق خوبی با وضعیت این رودخانه دارد. از طرفی دیگر، با بررسی جـدول ۵، مشـاهده مـی‌شـود روش تگزاس در ماه‌های اسفند، فروردین و اردیبهشت، جریانی بـالاتر از میانگین جریان سالانه را برای تأمین حداقل نیاز آبـی اکولـوژیکی، پیشنهاد داده است. با توجه به نتایج تجزیه و تحلیل‌های روش تگزاس می‌توان نتیجه گرفت که روش مزبور دبی کمتری از میانگین جریـان ماهانه و بیشتر از حداقل جریان ماهانه در هر ماه را به جریان زیسـت محیطی اختصاص می‌دهد و این نتیجه‌گیری با یافتـه‌هـای مطالعـات صورت گرفته همچون ختار و شکوهی (۱۵) در ارزیابی روش تگـزاس برای ارائه رژیم اکولوژیکی رودخانـه کـاظم‌رود و نـادری و همکـاران (۲۵) در تعیین محـدوده رژیـم جریـان مطلـوب اکولـوژیکی رودخانـه زرین‌گل، همخوانی دارد. همچنـین پـیش‌بینـی مـی‌شـود بـر اسـاس تغییرپـــذیری عمـــق و ســـرعت جریـــان و شـــاخص‌هـــای هیدرومورفواکولوژیکی در ارتباط با رژیم جریان رودخانه، تحت شرایط تخصیص ۶۰ درصد میانگین جریـان ماهانـه، در حـدود ۸۰ درصـد از بستر رودخانه، شرایط مطلوبی برای موجودات آبزی در زیسـتگاه‌هـای خیزاب و گوداب را حفظ کرده و تحـت شـرایط تخصـیص ۴۰ درصـد میانگین جریان ماهانه، عمق و عرض خیس‌شده، به‌طور قابل تـوجهی کاهش یافته و به واسطه آن زیستگاه‌های گودابی نیز کاهش می‌یابد و در نتیجه جمعیت گونه‌های ماهی نیازمنـد بـه ایـن زیسـتگاه‌هـا، نیـز کاهش می‌یابد.

روش توزیع سالانه: با استفاده از روش توزیع سالانه، مقدار نیاز آب اکولوژیکی رودخانـه دینـور، ۱۳ درصـد میـانگین جریـان سـالانه (معادل ۰/۲ متر مکعب بر ثانیه) بـرآورد گردیـد. بـا بررسـی جـدول ۵ ملاحظه می‌گردد، دبی زیست‌محیطی حاصل از روش توزیـع سـالانه، نمی‌تواند قابل استناد باشد، زیرا کمترین دبی ماهیانه‌ای که رخ داده را در تعیین حداقل نیاز آبی اکولـوژیکی منظـور کـرده اسـت و بـر ایـن اساس، در صورتی‌که بحث تخم‌ریزی و پرورش ماهی‌ها وجود داشـته باشد، روش توزیع سالانه، جریانی به اندازه کمتـر از حـداقل میـانگین جریان‌های ماهانه را برای دوره تخم‌ریزی و پـرورش ماهیـان توصـیه می‌کند. از آنجا که در روش توزیع سالانه دبی‌های حـداقل ماهانـه در محاسبه دبی زیستی درنظر گرفته می‌شود، با توجه به حداقل داده‌های سری بلندمدت جریان رودخانه، برای رودخانه دینور نمی‌توانـد گزینـه برتر تعیین جریان اکولوژیکی باشد، زیرا دبی تخصـیص داده شـده در این روش (معادل ۹ درصد میانگین جریان سالانه)، منجـر بـه از بـین رفتن تنوع اکولوژیکی اکوسیستم می‌گردد. مشـخص اسـت کـه روش تنانت با برقراری جریان موردنیاز برای فصول مختلف نسبت به توزیع سالانه از نظر اکولوژیکی نیز، بیشتر قابل قبول است و اگـر از دیـدگاه میزان مصرف که در طول رودخانه صورت می‌گیرد بـه ایـن روش‌هـا توجه شود، باید در نظر داشت که با توجه به آنکـه در فصـول بهـار و تابستان، میزان برداشت آب از رودخانه به جهـت مصـارف کشـاورزی

بیشتر می‌باشد، بنابراین در مورد میزان برداشت از رودخانه در این فصول، باید مدیریت صورت گیرد.

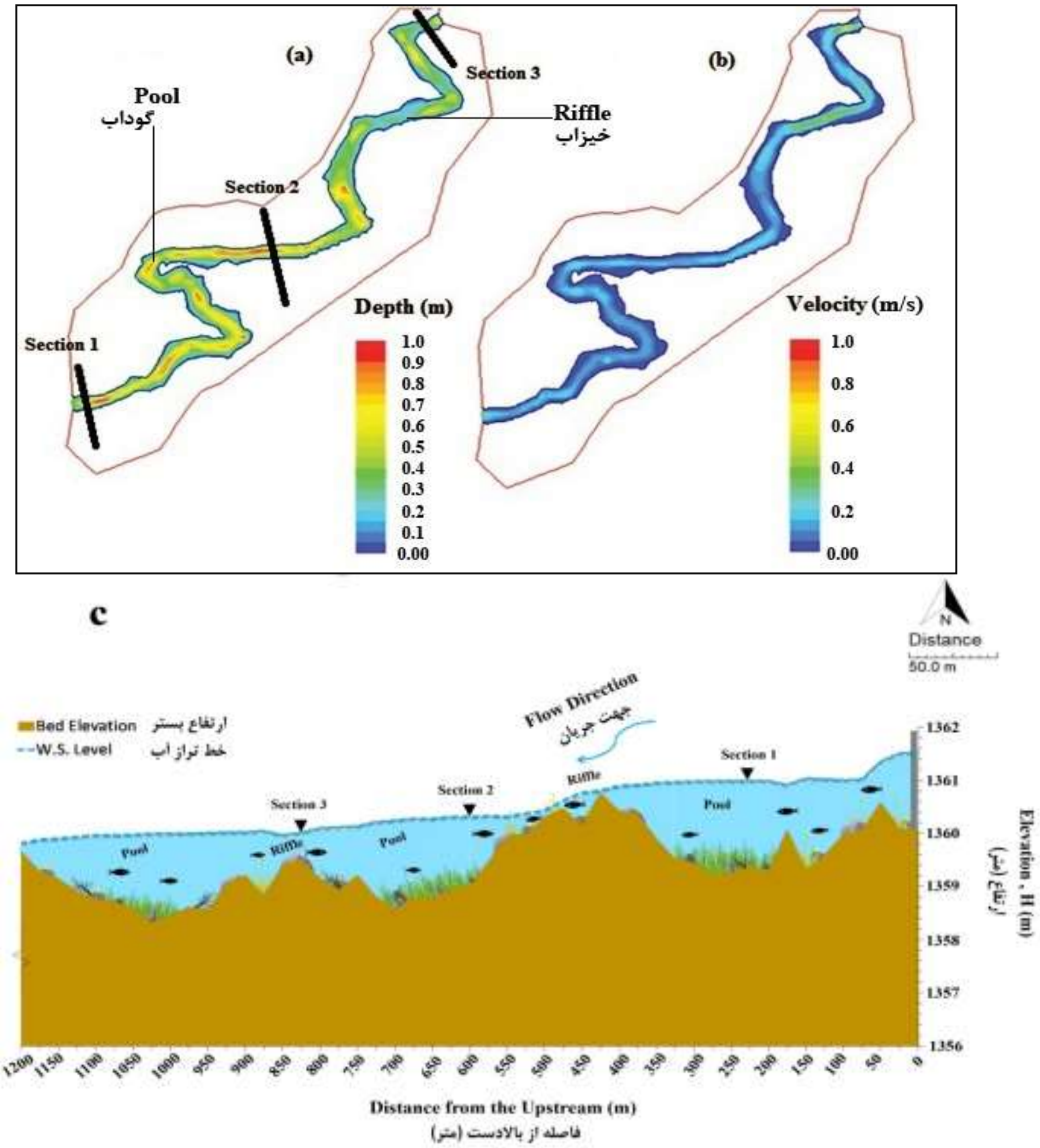
روش شبیه‌سازی زیستگاه: به منظور بررسی شرایط اکولوژیکی رودخانه دینور، باتوجه به مشاهدات میدانی و جمع‌آوری داده‌های موردنیاز، منحنی‌های مطلوبیت زیستگاهی ۳ پارامتر اصلی عمق، سرعت و شاخص بستر تولید شد (شکل ۳). در پژوهش حاضر، مطابق منحنی‌های مطلوبیت زیستگاهی (شکل ۳) می‌توان نتیجه گرفت که جریاناتی به عنوان جریان زیست‌محیطی در رودخانه دینورآب برای گونه سیاه‌ماهی خالدار در مراحل مختلف زندگی، مناسب است که بتواند اعماقی بین ۳۴۰ تا ۶۵ سانتی‌متر ایجاد کند و همچنین سرعت جریان حدود ۰/۱۶ تا ۰/۶ متر بر ثانیه باشد. بر اساس تحقیقات غنوی و همکاران (۸)، قلی زاده و همکاران (۹) و پوریا و همکاران (۲۸)، گونه‌های ماهی، معمولا زیستگاه‌هایی را که بیشتر با آنها سازگار هستند، انتخاب و اشغال می‌کنند (حضور دارند)، بنابراین رابطه بین گونه سیاه‌ماهی خالدار و متغیرهای هیدرولیکی سرعت جریان، عمق آب، دبی جریان و بستر، معمولا بالا است.

به عنوان نمونه توزیع‌های عمق و سرعت شبیه‌سازی شده با مدل River2D، در برخی مقاطع انتخابی رودخانه دینور در شکل ۴ ارائه شده است. با توجه به شکل ۴، توزیع عمق آب در محدوده ۰/۳ تا ۰/۸ متر با مقدار ۵۸ درصد و توزیع عمق آب بیشتر از ۰/۸ متر با مقدار ۱۵ درصد یافت شد و این در حالی است که توزیع عمق کمتر از ۰/۸ متر در بخش‌های ۱ و ۲ مشاهده می‌شود. همچنین از شکل ۴، دریافت می‌شود توزیع سرعت جریان، مقادیر مختلفی از ۰/۲ تا ۰/۵ متر بر ثانیه با به میزان ۶۱ درصد نشان می‌دهد و این در صورتی است که توزیع سرعت جریان بیشتر از ۰/۵ متر بر ثانیه، به میزان ۱۲ درصد است.



شکل ۳- منحنی‌های شاخص مطلوبیت پارامترهای عمق (a)، سرعت (b) و بستر (c) گونه سیاه‌ماهی خالدار در رودخانه دینور

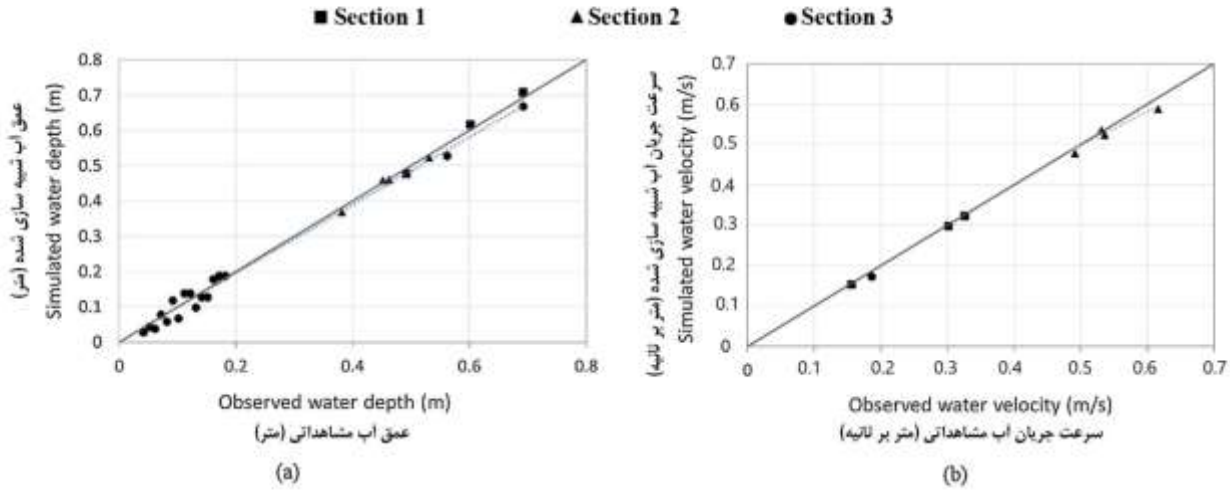
Figure 3- Habitat Suitability Curves parameters depht(a), velocity (b) and substrtes (c) of *Capoeta trutta* in Dinavar river



شکل ۴- نمایش توزیع عمق آب (a) و سرعت جریان (b) در مقطع انتخابی رودخانه دینور با مدل River2D و نمایی از واحدهای هیدرومورفولوژیکی گوداب و خیزاب (C)

Figure 4- Shows distribution water depth (a), Velocity flow (b) in the selected section of Dinavar river with River2D model and a view of hydromorphological units pool and riffle (c)

شکل ۵، همبستگی بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده عمق آب (a) و سرعت جریان (b) رودخانه دینور را نشان می‌دهد و با توجه به شکل ۵، می‌توان بیان کرد مدل دوبعدی هیدرودینامیکی River2D، قادر است مشخصات هیدرولیکی رودخانه مورد مطالعه را به خوبی شبیه‌سازی نماید. واسنجی یک مدل برای به حداقل رساندن خطا و قابلیت اطمینان بودن نتایج مدل، ضروری است. به منظور انجام واسنجی، پارامترهای مورد استفاده در مدل، جهت واسنجی انتخاب می‌شوند. معمولاً پارامترهایی که در مدل از حساسیت بالاتری برخوردار هستند، جهت واسنجی مدل انتخاب می‌شوند. در این مطالعه، جهت مقایسه نتایج مدل اکوهیدرودینامیکی River2D و داده‌های مشاهداتی، پارامترهای سرعت جریان و عمق آب برای بررسی عملکرد واسنجی مدل River2D مدنظر قرار گرفتند و به همین منظور از ۳ معیار ضریب تعیین (R^2)، میانگین خطای مطلق (MAE) و جذر مربعات میانگین خطا (RMSE) برای ارزیابی کمی نتایج حاصل از واسنجی مدل، استفاده شد.



شکل ۵- همبستگی بین داده‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده برای عمق آب (a) و سرعت آب (b)

Figure 5- Correlation between observed and simulated data for water depth (a) and water velocity (b)

جدول ۳- نتایج واسنجی شبیه‌سازی هیدرولیکی مدل River2D

Table 3- Hydraulic simulation calibration River2D model results

	R^2	MAE	RMSE
Water depth (m) عمق آب (متر)	0.976	0.017	0.019
Velocity (m/s) سرعت جریان (متر بر ثانیه)	0.947	0.05	0.072

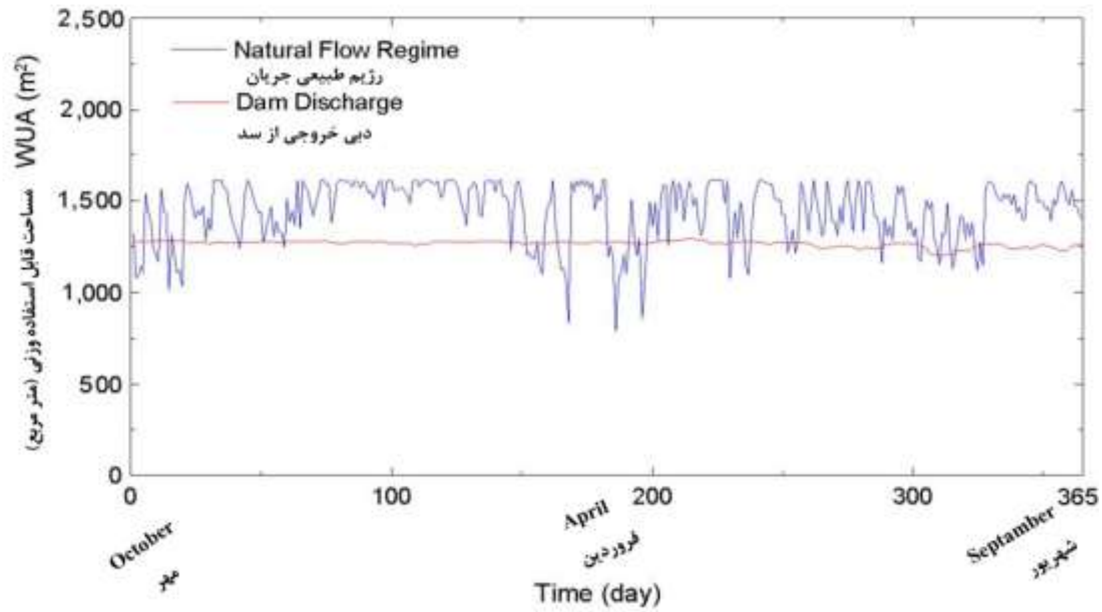
مقادیر آماری و شاخص‌های مربوط به ارزیابی کمی نتایج واسنجی مدل River2D برای پارامترهای سرعت جریان و عمق آب، در جدول ۳ آمده است. به‌طور خاص، ضریب تعیین (R^2) عمق آب و سرعت آب به ترتیب برابر ۰/۹۷۶ و ۰/۹۴۷، میانگین خطای مطلق (MAE) برای همان پارامترها ۰/۰۱۷ و ۰/۰۵ است، در حالی‌که مقادیر جذر مربعات میانگین خطا (RMSE) برای عمق آب و سرعت جریان به ترتیب ۰/۰۱۹ و ۰/۰۷۲ است. با توجه به نتایج به دست آمده برای معیارهای سنجش واسنجی در جدول ۳، ملاحظه می‌گردد مدل River2D به خوبی توانسته است شاخص‌های اکوهیدرولیکی سرعت جریان و عمق آب را در مقاطع انتخابی رودخانه دینور، شبیه‌سازی کند که این نتیجه‌گیری با نتایج تحقیقات برخی از پژوهشگران مطابقت دارد (۷، ۱۲ و ۲۴).

شکل ۶، تغییر مساحت قابل استفاده وزنی در طی زمان برای گونه سیاه‌ماهی خالدار را نشان می‌دهد. در این شکل ملاحظه می‌شود که مساحت قابل استفاده وزنی دبی جریان رهاسازی از سد جامیشان کوچکتر از مساحت قابل استفاده وزنی رژیم طبیعی جریان رودخانه دینور است. این مسئله بیانگر این مطلب می‌باشد که جریان رهاسازی از سد، به طور قابل توجهی بر مطلوبیت زیستگاه گوه هدف تأثیر می‌گذارد که کوریکی و همکاران (۱۸)، لی و همکاران (۲۰) و ون و همکاران (۳۶) نتایج مشابهی پیرامون این مورد را در پژوهش خود گزارش کرده‌اند. از سوی دیگر با توجه به شکل ۶، مشاهده می‌شود که رژیم طبیعی جریان، مساحت قابل استفاده وزنی برای گونه سیاه‌ماهی خالدار را حدود ۲۵ درصد افزایش می‌دهد. همچنین نتایج بررسی شکل ۶، نشان می‌دهد که مطلوبیت فیزیکی زیستگاه سیاه‌ماهی خالدار، می‌تواند تأثیر بیشتری را در برنامه‌ریزی و مدیریت تغییر دبی جریان رهاسازی از سد جامیشان، برای حفاظت از زیستگاه مورفولوژی رودخانه دینور و بهبود شرایط مناسب زیستگاه آبی آن منطقه، داشته باشد.

شکل ۷، مساحت قابل استفاده وزنی شبیه‌سازی شده در مقابل ۱۰ تا ۲۰۰ درصد رژیم طبیعی جریان رودخانه دینور، در مراحل مختلف زندگی گونه ماهی هدف و ماه‌های مختلف سال نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۸، ۷۵ درصد حداکثر میزان مساحت قابل استفاده وزنی برای دوره نابالغ گونه سیاه‌ماهی خالدار، در ۸۵ درصد میانگین جریان سالانه در ماه فروردین است. همچنین ۷۵ درصد حداکثر میزان مساحت قابل استفاده وزنی برای دوره بالغ گونه سیاه‌ماهی خالدار، در ۱۲۳ درصد میانگین جریان سالانه در ماه فروردین است. ماه فروردین و اردیبهشت مربوط به دوره پرآبی رودخانه دینور است. اما میزان بالای مساحت قابل استفاده وزنی، تنها

تعیین کننده میزان بیشتر حضور گونه ماهی هدف، در رودخانه دینور نیست، زیرا حضور ماهیان در زیستگاه رودخانه، به عوامل دیگر مانند در دسترس بودن غذا نیز بستگی دارد (۸، ۹، ۲۰ و ۲۸). بر اساس موارد ذکر شده می توان بیان کرد مساحت قابل استفاده وزنی برای گونه هدف (سیاه‌ماهی خالدار)، با افزایش دبی جریان در دبی کم (دبی پایه)، افزایش می‌یابد و در یک دبی خاص به حداکثر رسیده (محدوده حداکثر میانگین جریان ماهانه) و سپس با افزایش بیشتر دبی، شروع به کاهش می کند. آنچه از شکل ۷، دریافت می‌گردد این است که در محدوده حداکثر میانگین جریان ماهانه که برابر ۶- ۴ متر مکعب بر ثانیه و حدود ۱۵۰-۱۲۰ درصد میانگین جریان سالانه است، حداکثر مساحت قابل استفاده وزنی و میزان زیستگاه در دسترس برای گونه سیاه‌ماهی خالدار، برابر با ۱۴۰ درصد (۲۰۰۰ متر مربع) است. یادآور می‌شود که مساحت قابل استفاده وزنی، شامل مقاطع (بازه‌هایی) با مقادیر مختلف شاخص مطلوبیت زیستگاه است که نشان دهنده کیفیت زیستگاه است (همان‌گونه که در رابطه (۲) تعریف شده است). تفاوت بین حداقل و حداکثر مقادیر مساحت قابل استفاده وزنی با توجه به دبی جریان در ماه‌های مختلف سال و مراحل زندگی سیاه‌ماهی خالدار، نشان می‌دهد که نیاز به تجزیه و تحلیل‌های دقیق مبتنی بر مطلوبیت زیستگاه در تمامی مراحل زندگی این گونه داریم. مطابق با شکل ۸، با تغییر رژیم طبیعی جریان رودخانه کاهش جریان به میزان کم‌تر از حداقل میانگین دبی جریان رودخانه که برابر با ۰/۱۶ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد نیز بیانگر پایین بودن میزان مساحت قابل استفاده برای دو دوره نابالغ و بالغ گونه هدف است.

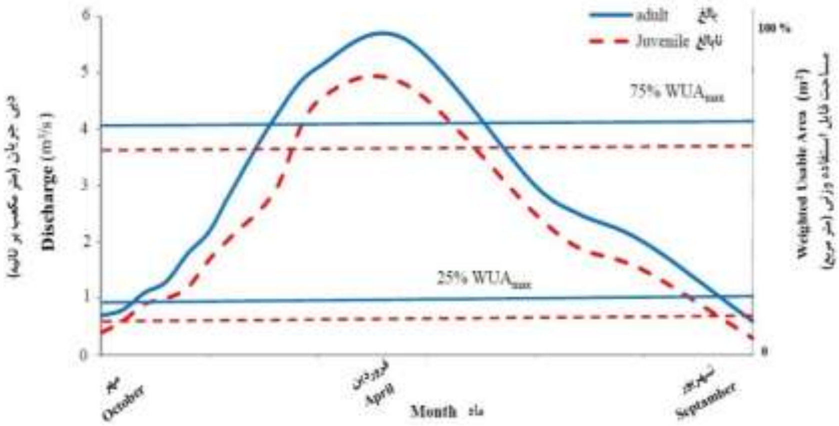
با توجه به موارد مطرح شده می‌توان این گونه بیان کرد که رهاسازی آب از مخزن سد جامیشان، به طور قابل توجهی بر مطلوبیت زیستگاه گونه ماهی هدف، تأثیر می‌گذارد. با توجه به موارد مطرح شده، به طور کلی، رژیم طبیعی جریان، مساحت قابل استفاده وزنی را برای گونه هدف، حدود ۲۵ درصد افزایش می‌دهد. همچنین نتایج بررسی نشان می‌دهد در محدوده مورد مطالعه، مطلوبیت زیستگاه گونه هدف، بیشترین تأثیر را در اثر رهاسازی جریان از سد جامیشان دارد. این یافته‌ها با افزایش زیستگاه مطلوب ماهیان نشان داده شده در جدول ۴، مورد تأیید قرار می‌گیرد و بر این اساس حداکثر کاهش مطلوبیت زیستگاه مربوط به زمانی است که رژیم رودخانه، زیر آستانه جریان‌های اکولوژیکی است. با این حال، با توجه به منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه (شکل ۳) و مساحت قابل استفاده وزنی (شکل ۷)، حداکثر زیستگاه بهینه و مطلوب در دوره‌های بالغ و نابالغ گونه سیاه‌ماهی خالدار، در صورت دبی بیش از حد، کاهش می‌یابد و می‌توان بیان داشت مطابق جدول ۴ و شکل ۷، توزیع جریان اکولوژیکی مطلوب، در طول سال برابر نیست.



شکل ۶- تغییرات سری زمانی مساحت قابل استفاده وزنی (WUA) گونه سیاه‌ماهی خالدار در شرایط رژیم طبیعی جریان رودخانه دینور و رژیم جریان تغییر یافته (دبی خروجی از سد جامیشان)

Figure 6- Change of Weighted Usable Area (WUA) with time series of *Capoeta trutta* in natural flow regime Dinavar river and changed flow regime (discharge from Jamishan dam)

مطابق با شکل ۷، با تغییر رژیم طبیعی جریان رودخانه و افزایش دبی به میزان بیشتر از حداکثر میانگین دبی جریان رودخانه که برابر با ۴/۷۶ متر مکعب بر ثانیه است و در شرایط سیلابی میزان مساحت قابل استفاده وزنی برای دوره‌های مختلف زندگی سیاه‌ماهی خالدار، کاهش می‌یابد. همچنین با بررسی در جدول ۴، می‌توان به این مطلب اشاره کرد که کاهش جریان به میزان کم‌تر از حداقل میانگین دبی جریان رودخانه که برابر با ۰/۲ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد نیز بیان‌گر پایین بودن میزان زیستگاه موجود، زیستگاه مطلوب و زیستگاه بهینه برای دوره بالغ گونه هدف است، ولی برای دوره نابالغ با میزان دبی جریان کم نیز، شرایط تقریبا مناسبی از نظر میزان مطلوبیت، حاکم بوده و میزان زیستگاه موجود، زیستگاه مطلوب و زیستگاه بهینه نسبت به دوره بالغ، بیشتر است.



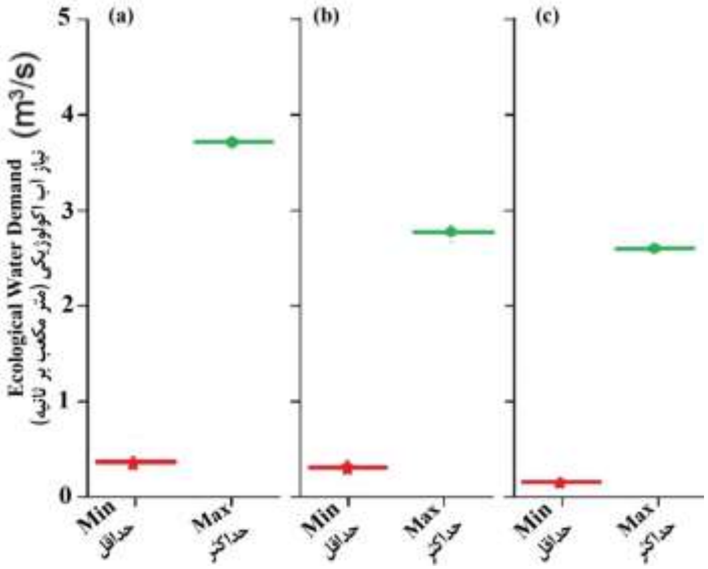
شکل ۷- منحنی دبی- مساحت قابل استفاده وزنی در دوره‌های مختلف زندگی سیاه‌ماهی خالدار در رودخانه دینور

Figure 7- Curve of Discharge-Weighted Usable Area in different periods of life *Capoeta trutta* in Dinavar river

جدول ۴- تجزیه و تحلیل مطلوبیت زیستگاه گونه هدف تحت تأثیر رژیم های چندگانه جریان به عنوان درصدی از حداکثر مساحت مرطوب

Table 4- Analysis of habitat suitability for all target specie under multiple flow regimes as a percentage of maximum wetted area

دبی Discharge (m^3/s)	مساحت مرطوب Wetted area (m^2)	سیاه‌ماهی خالدار (نابالغ) *Capoeta trutta* (juvenile)	سیاه‌ماهی خالدار (بالغ) *Capoeta trutta* (adult)
		زیستگاه موجود (درصد مساحت خیس شده) Available habitat (% maximum wetted area)	
1	36/2	38/2	17/3
2	51/7	51/6	30/4
3	83/2	72/6	43/2
4	168/5	63/7	52/5
5	237/6	41/6	72/3
		زیستگاه مطلوب (درصد مساحت خیس شده) Suitable habitat (% maximum wetted area)	
1	36/2	28/4	15/3
2	51/7	43/2	36/4
3	83/2	57/6	42/5
4	168/5	51/2	56/2
5	237/6	37/4	28/7
		زیستگاه بهینه و ایده‌آل (درصد مساحت خیس شده) Optimal habitat (% maximum wetted area)	
1	36/2	13/2	14/4
2	51/7	22/5	25/8
3	83/2	43/6	47/8
4	168/5	50/8	52/7
5	237/6	31/6	22/4



شکل ۸– توزیع مقادیر جریان اکولوژیکی مطلوب برای بازه‌های بالادست (a)، میانی (b) و پایین دست (c) رودخانه دینور

Figure 8- Distribution of suitability ecological flow amounts for upstream (a), middle (b) and downstream (c) sections of Dinavar river

با بررسی سرعت جریان و عمق آب مطلوب اکولوژیکی (شکل ۳) برای سیاه‌ماهی خالدار در رودخانه دینور و نیز تحلیل منحنی‌های دبی- مساحت قابل استفاده وزنی در دوره‌های مختلف گونه شاخص و در زیستگاه‌های هیدرومورفولوژیکی، رژیم جریان اکولوژیکی ماهانه برای بازه‌های بالادست، میانی و پایین‌دست با استفاده از مدل اکوهیدرولیکی River2D محاسبه شد (جدول ۵ و شکل ۸). همان‌طور که در شکل ۸ نشان داده شده است، به طور کلی محدوده جریان اکولوژیکی در بازه بالادست رودخانه دینور بین ۰/۱۷ تا ۳/۷۱ متر مکعب بر ثانیه، بازه میانی رودخانه بین ۰/۱۵ تا ۲/۶۴ متر مکعب بر ثانیه و بازه پایین‌دست بین ۰/۱۲ تا ۲/۴۳ متر مکعب بر ثانیه برآورد گردیده است. بر این اساس از شکل ۸ دریافت می‌شود که بیشترین حداکثر جریان اکولوژیکی مورد نیاز، در بازه‌های بالادست و میانی رودخانه می باشد و این در حالی است که کمترین حداقل جریان اکولوژیکی، در بازه پایین‌دست رودخانه دینور، مورد نیاز است. همچنین می‌توان بیان کرد کمترین حداکثر و حداقل جریان اکولوژیکی در بازه پایین‌دست رودخانه، تعیین شده است. آنچه مسلم است این که در فصل بهار و تابستان با افزایش رقابت برای استفاده از آب برای مصارف مختلف کشاورزی، شرب و صنعت روبرو هستیم.

در جدول ۵، رژیم طبیعی جریان رودخانه (میانگین جریان ماهانه) دینور در مقابل نیاز آبی جریان حداقل و مطلوب اکولوژیکی پیشنهادی به‌دست آمده از روش‌های تنانت، توزیع سالانه، تگزاس و مدل شبیه‌سازی زیستگاه River2D، نشان داده شده است. برای تعیین رژیم جریان اکولوژیکی با استفاده از مدل River2D، میزان مساحت قابل استفاده وزنی بر اساس درصد کاهش زیستگاه، دبی معادل مساحت قابل استفاده وزنی کاهش یافته از منحنی دبی- مساحت قابل استفاده وزنی، قرائت گردید. با توجه به توضیحات ارائه شده درباره میزان زیستگاه در دسترس برای گونه هدف در رودخانه دینور، همچنین ملاحظات اکولوژیکی و میزان درصد کاهش زیستگاه تا مقداری که حداقل زیستگاه برای گونهٔ شاخص حفظ شود، معادل ۲۵ درصد از زیستگاه‌های مطلوب در دسترس و به تبع آن ۸۰-۶۰ درصد میزان مطلوبیت زیستگاهی به عنوان سطح حفاظتی متوسط و قابل قبول (برای زیستگاه‌هایی که گونه‌های با ارزش اکولوژیکی کمتری را داشته باشند) و ۱۰۰-۹۰ درصد میزان مطلوبیت زیستگاه در دسترس به عنوان حداکثر حفاظت (برای زیستگاه‌هایی که گونه‌های با ارزش اکولوژیکی بالایی دارا باشند)، در تحلیل نیاز آبی اکولوژیکی مطلوب، در نظر گرفته می‌شود.

بر اساس محاسبات پژوهش حاضر در جدول ۵، توزیع حداقل میزان جریان اکولوژیکی در طول سال با استفاده از روش شبیه‌سازی زیستگاه (۲۵ درصد کل زیستگاه‌های مطلوب)، بین حداقل ۰/۱۲ متر مکعب بر ثانیه در ماه شهریور (در محدوده جریان پایه رودخانه) و حداکثر مقدار ۲/۸۵ مترمکعب بر ثانیه در ماه فروردین است. همچنین مطابق با جدول ۵، برای حفظ حیات اکوسیستم و حفاظت اکولوژیکی گونهٔ سیاه‌ماهی خالدار در رودخانه دینور معادل سطح حفاظت قابل قبول (۷۵ درصد کل زیستگاه‌های مطلوب)، بایستی میانگین رژیم جریان اکولوژیکی معادل ۱/۲۶ مترمکعب بر ثانیه (معادل ۸۰ درصد جریان طبیعی رودخانه) برای حفاظت ازسامانه حیاتی رودخانهٔ دینور در نظر گرفته شود.

جدول ۵- نتایج برآورد رژیم جریان اکولوژیکی ماهانه رودخانه دینور با روش‌های مختلف (متر مکعب بر ثانیه)

Table 5-The estimation results of monthly ecological flow of Dinavar river with different methods (m^3/s)

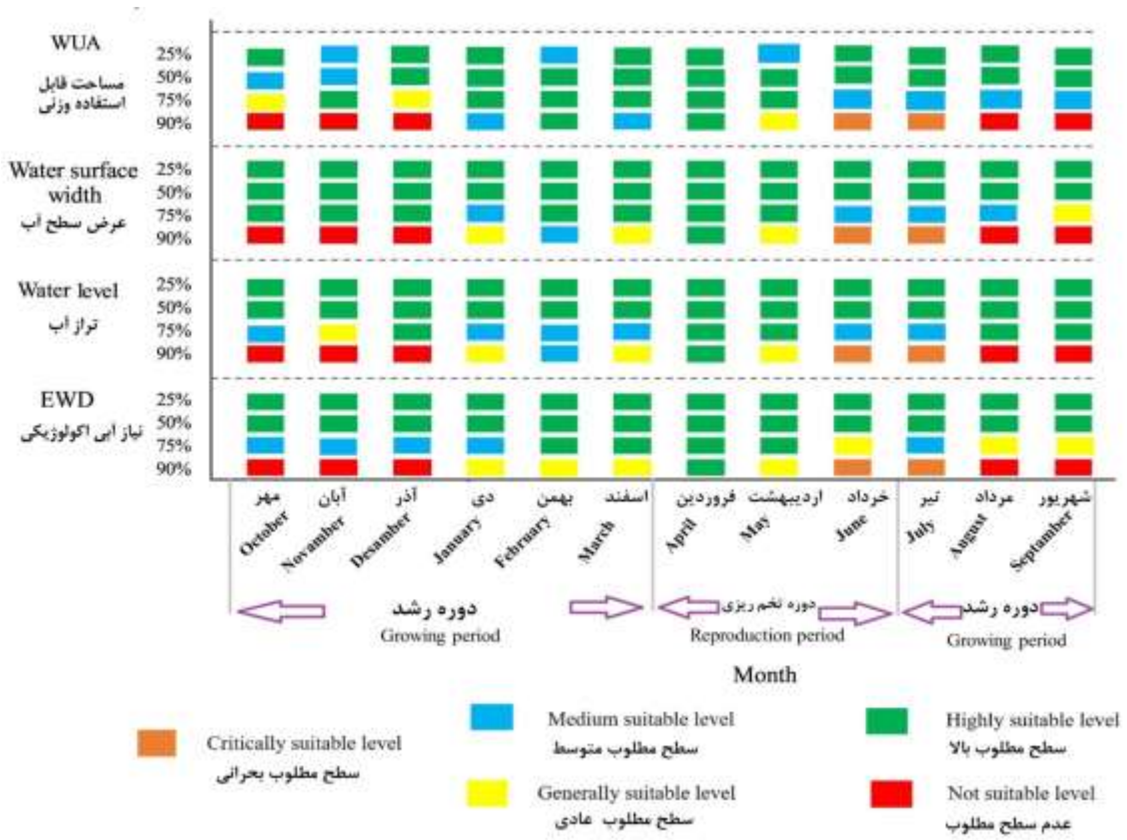
Month ماه	MMF	Q Tennant	Q Texas	Q ADM	Q 25% WUA	Q 75% WUA	Min EF	Suitable EF
April فروردین	4.76	0.46	2.85	0.57	0.52	3.71	2.85	3.71
May اردیبهشت	3.29	0.46	1.97	0.39	0.39	2.43	1.97	2.43
June خرداد	0.81	0.46	0.48	0.091	0.1	0.54	0.48	0.54
July تیر	0.29	0.46	0.17	0.032	0.071	0.14	0.17	0.46
August مرداد	0.2	0.46	0.12	0.023	0.034	0.15	0.15	0.46
September شهریور	0.16	0.46	0.09	0.01	0.038	0.12	0.12	0.46
October مهر	0.21	0.15	0.08	0.025	0.05	0.17	0.15	0.17
November آبان	1.31	0.15	0.52	0.15	0.28	1.12	0.52	1.12
December آذر	1.89	0.15	0.75	0.22	0.52	1.41	0.75	1.41
January دی	1.68	0.15	0.67	0.2	0.45	1.29	0.67	1.29
February بهمن	2.22	0.15	0.88	0.26	0.48	1.5	0.88	1.5
March اسفند	3.63	0.15	2.17	0.43	0.87	2.64	2.17	2.64
Average میانگین	1.56	0.3	0.89	0.2	0.29	1.26	0.9	1.38

حداکثر مقدار مورد نیاز جریان اکولوژیکی مطلوب در فروردین برابر با ۳/۷۱ مترمکعب بر ثانیه و کمترین مقدار در مهر برابر با ۰/۱۷ متر مکعب بر ثانیه است. لذا با افزایش فراوانی جریان، حداقل میزان نیاز اکولوژیکی در سال‌های خشک تأمین می‌شود و می‌توان نیاز آبی اکولوژیکی مناسب و مطلوب را در سال‌های مرطوب، تأمین کرد. با این حال، توزیع نیاز آب اکولوژیکی مناسب در طول سال، نابرابر است. نیاز آب اکولوژیکی مطلوب در فصل جاری شدن سیل (اسفند-اردیبهشت) از فصل غیر سیلابی بیشتر است. همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، مقادیر رژیم جریان اکولوژیکی پیشنهادی روش شبیه‌سازی زیستگاه در ماه‌های کم جریان (خرداد تا مهر) نسبت به ماه‌های جریان پرآبی (بهمن تا اردیبهشت) به نسبت بیشتری از میانگین جریان ماهانه رودخانه دینور را نیاز دارند. بر اساس مطالعه حاضر نتایج بدست آمده با ترکیب روش‌های تنانت، توزیع سالانه، تگزاس و مدل شبیه‌سازی زیستگاه، منطقی‌تر از نتایج بدست آمده از یک روش واحد به‌دلیل توجه همزمان به خصوصیات بیولوژیکی و خصوصیات جریان است که این نتیجه‌گیری در مطالعات دیگری (۳۲، ۳۶، ۳۸ و ۴۰) مورد توجه قرار گرفته است.

در مطالعه حاضر، چرخه سالانه زندگی سیاه‌ماهی خالدار، به دو بخش «فعالیت‌های زیستی وابسته به تخم‌ریزی و تکثیر» و «فعالیت‌های زیستی دوران رشد» تقسیم‌بندی گردیده است. فعالیت‌های زیستی وابسته به تکثیر، شامل مراحل تخم‌ریزی، نهفتگی و از تخم درآمدن بچه ماهی‌ها می‌باشد. در این مرحله جریان‌های با شدت کم، تنش برشی مورد نیاز برای جلوگیری از دپوشدن رسوبات ریزدانه را فراهم کرده و همچنین جریان‌های با شدت متوسط، با ایجاد زیستگاه‌های بیشتر در بستر، محدوده جریان مناسب برای ادامه فعالیت‌های زیستی آبزی و یا محدوده دبی اکولوژیکی را در نظر می‌گیرد. فعالیت‌های زیستی دوران رشد، شامل دوران بلوغ و مهاجرت آبزی می‌باشد. در این مرحله، جریان‌های با شدت زیاد نیز با ایجاد جابه جایی در بستر، در محدوده دبی اکولوژیکی در نظر گرفته می‌شود. شکل ۹، سطوح مناسب رژیم جریان اکولوژیکی و مقادیر مهم با رژیم‌های مختلف ماهانه جریان رودخانه دینور را نشان می‌دهد. فراوانی‌های جریان ۹۰ درصد، ۷۵ درصد، ۵۰ درصد و ۲۵ درصد به ترتیب به عنوان سطح یک فصل خشک، فصل نیمه‌خشک، فصل طبیعی و فصل مرطوب، انتخاب شدند. با توجه به شکل ۱۰، سطح مطلوب نیاز آب اکولوژیکی، مساحت قابل استفاده وزنی، تراز آب و عرض سطح آب، در شرایطی می‌تواند در وضعیت «سطح مطلوب بالا» باشد که فراوانی جریان، کمتر از ۷۵ درصد باشد. همچنین هنگامی که فراوانی جریان از ۹۰ به ۷۵ درصد کاهش می‌یابد، مقدار نیاز آب اکولوژیکی، در فصول مرطوب حداقل ۵۵ درصد افزایش یافته و در فصل خشک، ۲ برابر می‌شود. از طرفی دیگر، نیاز آب اکولوژیکی، مساحت قابل استفاده وزنی، تراز آب و عرض سطح آب در ماه فروردین در دوره تخم‌ریزی ماهی، در وضعیت «سطح مطلوب بالا» است، و در ماه‌های خرداد و تیر (دوره رشد) در وضعیت «سطح مطلوب بحرانی» می‌باشد و این در حالی است که نیاز آب اکولوژیکی، تراز آب، مساحت قابل استفاده وزنی و عرض سطح آب از مرداد تا آذرماه در وضعیت «عدم سطح مطلوب» است. با توجه به شکل ۹، این نتیجه‌گیری به‌عمل می‌آید که مدل اکوهیدرودینامیکی-اکوهیدرولیکی River2D، قادر به ارائه رژیم اکولوژیکی رودخانهٔ دینور

از دو نقطه‌نظر علمی و عملی است. آنچه از شکل ۹ دریافت می‌گردد، تعیین مؤثرترین فرآیند افزایش جریان برای بهبود شرایط تخم‌ریزی سیاه‌ماهی خالدار از طریق تخصیص بهینه رژیم جریان اکولوژیکی با در نظر گرفتن همبستگی لازم بین روابط مشخصه‌های هیدرومورفواکولوژیکی، اکوهیدرولیکی، فرآیندهای هیدرولوژیکی، مورفولوژیکی و درک پویایی زیستگاه در رودخانه دینور و برقراری رابطه مستقیم بین مساحت مطلوب زیستگاهی و پاسخ بیولوژیکی گونه سیاه‌ماهی خالدار طی فعالیت‌های زیستی در دوران رشد و تخم‌ریزی و تکثیر، در زمینه مدیریت و تنظیم جریان درون رودخانه‌ای، نقش مهم و بارزی ایفا می‌کند. همچنین هولمز و همکاران (۱۲) به این مطلب اشاره داشته اند که شهریور و مهر ماه، چالش برانگیزترین ماه‌ها برای جریان‌های طبیعی رودخانه از منظر برقراری جریان در مسیر مهاجرت ماهیان در دوره‌های مختلف زندگی آبزیان است که این مطلب در مطالعه حاضر نیز مورد تائید قرار گرفته و بر این اساس، در نظر گرفتن دقیق پویایی تنوع و تغییرپذیری جریان فصلی و بین سالی، از اجزای حیاتی یک استراتژی مدیریت مؤثر برای نگهداری و حفاظت برقراری جریان زیستگاهی بین بالادست و پایین‌دست رودخانه است.

از دیدگاه دیگر، مقادیر بالای جریان آب رهاسازی شده از سد جامیشان، نقش مهمی در زیستگاه‌های پایین‌دست سد، دارد. با توجه به موارد بیان شده، در ماه‌های تیر تا آذر نیاز به رهاسازی دبی بیشتری از مخزن سد جامیشان در برآورده کردن رژیم جریان اکولوژیکی بوده و تخلیه جریان فعلی از سد در فصول کم آبی و خشک، ۶۰ درصد پتانسیل زیستگاه مطلوب را تأمین می‌کند و درنظر گرفتن جریان مطلوب اکولوژیکی، اکوسیستم پایین‌دست رودخانه را از تخریب محافظت می‌کند و زیستگاه بهتری را برای گونه‌های آبزی فراهم می‌کند. آنچه که بایستی مدنظر قرار بگیرد این است که مقدار جریان مشخصی از آب موردنیاز است تا آلودگی‌های موجود را از بین ببرد و باعث تغییراتی در مورفولوژی و کیفیت آب در قسمت پایین‌دست سد شود. به طور خاص، چنین تغییر شکل مورفولوژی، اکوسیستم‌های آبی را تغییر می‌دهد و در نتیجه باعث افزایش مطلوبیت زیستگاه و زیستگاه‌های تخم‌ریزی گونه‌های آبزی می‌شود.



شکل ۹- نمایش سطوح مختلف رژیم جریان اکولوژیکی و مقادیر مهم شاخص‌های هیدرولیکی در بخش‌های مختلف و دوره‌های ماهانه رژیم جریان رودخانه دینور در دوره‌های زیستی گونه هدف

Figure 9- Demonstration of different levels of ecological flow regime in and hydraulic indices important amounts in different sections and the monthly periods of the Dinavar river flow regime in the biological periods of the target species

لی و همکاران (۲۰)، ما و همکاران (۲۲)، نادری و همکاران (۲۴) و ژائو و همکاران (۳۹) در تحلیل عوامل مختلف بر جریان اکولوژیکی رودخانه‌های مورد مطالعه‌شان گزارش کردند که سرعت جریان و عرض رودخانه، تأثیرات مثبتی بر ماهی‌ها داشته و از طرفی افزایش سرعت جریان می‌تواند مکان‌های تولیدمثل و زیستگاه‌های بیشتری را برای ماهیان فراهم کند، که در نهایت منجر به افزایش تعداد گونه‌های اصلی ماهی در رودخانه می‌شود که این نتیجه را می‌توان به مطالعه حاضر تعمیم داد. در بازه‌های پایین‌دست رودخانه دینور پس از پیوستن شاخه‌های فرعی (ارمنی‌جان، عالی‌سیاه و مریم نگار)، عمق جریان رودخانه از منظر نیاز اکولوژیکی در ماه‌های اسفند، فروردین و اردیبهشت برآورده می‌شود و پاسخگوی نیازهای زیست‌محیطی آبزیان است. در تصمیم‌گیری‌های تخصیص و توسعه منابع آب سد جامیشان، پناهی و همکاران (۲۷) نیاز زیست‌محیطی پایین‌دست سد را در اولویت برنامه‌ریزی برای مدیریت پایدار حوضه سد جامیشان دانسته و مقدار آن را برابر با ۱/۲۶ میلیون مترمکعب در سال، درنظر گرفتند. در تحقیقات متعددی گزارش شده است بسیاری از روش‌های پیشرفته برای تعیین جریان زیست‌محیطی و دارای جزئیات کامل از شرایط اکولوژیکی، بیولوژیکی و مورفولوژیکی نظیر روش هیدرولیکی محیط خیس‌شده و مدل‌های شبیه‌سازی مطلوبیت زیستگاه، به طور متوسط در حدود ۸۰ الی ۹۵ درصد متوسط جریان سالانه را به رژیم جریان اکولوژیکی رودخانه اختصاص می دهند (۷، ۱۸، ۲۱، ۳۹ و ۴۰). تجربیاتی که در مطالعه نادری و همکاران (۲۴) در مورد کاربرد مدل دوبعدی اکوهیدرودینامیکی River2D وجود دارد نشان می‌دهد که این مدل، ۸۴ درصد متوسط جریان سالانه را به رژیم جریان اکولوژیکی رودخانه زرین‌گل، تخصیص داده است.

بر اساس آنچه که توسط محققین دیگر گزارش شده است (۳، ۱۵، ۲۶) می‌توان این نتیجه‌گیری را به عمل آورد که روش‌های هیدرولوژیکی محدودیت‌هایی نیز دارند. این روش‌ها، فقط در حوضه‌های آبریز قابل استفاده هستند، به داده‌های هیدرولوژیکی حساس هستند و فرض می‌کنند که همه موجودات آبزی برای زنده ماندن به جریان اکولوژیکی یکسان، نیاز دارند. در بسیاری از مطالعات گزارش شده است بیشتر روش‌های هیدرولوژیکی برای مراحل مطالعات مقدماتی و برنامه‌ریزی توسعه منابع آب استفاده می‌شود (۴، ۶، ۲۳، ۲۶ و ۳۵). در بررسی تحقیقات سووال و همکاران (۳۴) و ژورانگ و همکاران (۳۸) این نتیجه‌گیری به عمل آمده است که روش توزیع سالانه، نمی‌تواند ویژگی‌های هیدرولوژیکی رودخانه را منعکس کند. با این وجود، روند میانگین دبی ماهانه رودخانه، می‌تواند نمایش بهتری از روند تاریخی جریان رودخانه مانند فراوانی، مدت زمان و تغییرات دبی را نشان دهد. ختار و شکوهی (۱۵) در مطالعه ارزیابی روش تگزاس با استفاده از میانه درازمدت دبی ماهانه برای رژیم اکولوژیکی رودخانه کاظم‌رود گزارش کردند که روش مزبور عملاً در ماه‌های گرم و کم آب تابستان، تخصیصی را برای جریان اکولوژیکی توصیه می‌نماید که ممکن است در برخی سال‌ها و به‌خصوص سال‌های خشک و کم آب، فراهم نباشد. شایان ذکر است هیچ‌کدام از روش‌های هیدرولوژیکی مورد استفاده در پژوهش حاضر، مطابق با بررسی در منابع تایید شده (۳، ۴، ۱۵، ۲۶، ۲۹ و ۳۰)، نیاز به صحت‌سنجی ندارند. نتایج بررسی برخی مطالعات در زمینه طراحی رژیم جریان مطلوب اکولوژیکی نشان می‌دهد مدل اکوهیدرودینامیکی River2D، قادر به شبیه‌سازی زیستگاه مبتنی بر رویکرد مدل‌سازی اکوهیدرولیکی–هیدرومورفواکولوژیکی در مقیاس جریان‌های کوچک و مرتبط کردن الگوهای رژیم طبیعی جریان رودخانه با فرآیندهای زیست‌محیطی می‌باشد (۷، ۱۲، ۱۳ و ۲۴). فوکودا و همکاران (۷)، هولمز و همکاران (۱۲) و ژو و همکاران (۴۰) در تحقیقاتشان بیان کرده‌اند که مدل‌های هیدرودینامیکی می‌توانند شرایط زیستگاهی جریان رودخانه را با دقت مدل‌سازی نمایند که در مطالعه حاضر نیز کاربرد مدل اکوهیدرودینامیکی مطلوبیت زیستگاه (River2D)، نشان می‌دهد که این مدل می‌تواند وضعیت موجود زیستگاه رودخانه دینور را به طور دقیق، مورد مطالعه قرار دهد. اگر چه مدل River2D، فاکتورهای اکوهیدرولیکی را که تأثیر قابل توجهی بر جمعیت ماهیان دارند، در نظر می‌گیرد، اما این مدل، فاکتور دما را برای شبیه‌سازی زیستگاه ماهیان، نادیده می‌گیرد (۷، ۱۳ و ۳۳). لی و همکاران (۲۰) نیز در مطالعه تعیین مؤثرترین فرآیند افزایش جریان برای بهبود شرایط تخم‌ریزی ماهیان با بهینه‌سازی رهاسازی آب از مخزن سد، نشان دادند که برای متعادل‌سازی حداکثر نیازهای تولید انرژی و فرآیندهای اکولوژیکی زیستگاه ماهیان در سال‌های نرمال و مرطوب، باید بخشی از سود اقتصادی را در حد امکان کاهش داد تا جریان مورد نیاز تخم‌ریزی ماهیان تأمین شود. همچنین فرهادیان و همکاران (۶) جریان رهاسازی بهینه زیست‌محیطی از مخزن سد گتوند برای ایجاد تعادل مناسب و با رعایت عدالت در میان ذی‌نفعان با استفاده از روش هیدرولوژیکی تنانت، مقدار ۴۵/۴ متر مکعب بر ثانیه را به عنوان حداقل جریان زیست محیطی و جریان ۲۷۲ متر مکعب بر ثانیه را به عنوان بیشترین مقدار مناسب جریان زیست‌محیطی برای حفظ پتانسیل زیستگاه مطلوب رودخانه کارون، قابل قبول دانستند. در پژوهشی دیگر، شکوهی و هانگ (۳۱) در تعیین حداقل نیاز آبی محیط اکولوژیکی رودخانه صفارود در شمال ایران با مقایسه روش هیدرولوژیکی تنانت و روش هیدرولیکی محیط خیس شده، گزارش کردند تأثیر، انعطاف پذیری و اثربخشی روش تنانت به دلیل برآورد جریان زیست‌محیطی تقریبا نامناسب برای حفاظت زیستگاه رودخانه، کافی نیست.

شرایط طبیعت نیز نامطلوبیت‌هایی به طور خاص دارد که در

صورت وجود رژیم کاملا طبیعی رودخانه، در یک سیکل صحیح قرار دارد، اما زمانی که رژیم رودخانه دستکاری می‌شود، بعضا این عدم مطلوبیت‌ها باید کنترل شود. در رابطه با جریان‌های شدید بر حیات زیستی رودخانه، نقش جریان زیست‌محیطی بسته به نوع بستر و هندسه رودخانه به منظور شستشوی زیستگاه تخم‌ریزی ماهیان و حفظ انتقال رسوب از بستر رودخانه، عاملی در جهت عدم کاهش ظرفیت رودخانه می‌باشد (۱۷، ۲۰، ۲۴ و ۳۶). به دلیل مدیریت اکوسیستم‌های آبی در حوزه‌های آبخیز، بایستی تفکر حکمرانی آبخیز کاملا همسو با نگاه اکوسیستم محور و راه حل‌های مبتنی بر طبیعت باشد (۱۹، ۲۴ و ۴۰) و از این منظر عدم توجه به حفظ طبیعت جریان رودخانه وحقابه مطالبه شده محیط زیست و رهاسازی جریان از سد، باعث عدم کارکرد حقیقی مخزن سد در کنترل سیلاب می‌شود. مطالعات متعددی نشان می‌دهد رهاسازی جریان از سد جهت تأمین جریان زیست‌محیطی، عملکرد مخزن را در کنترل سیل افزایش می‌دهد و این تأمین جریان، لزوماً عملکرد مخزن در تأمین نیازهای دیگر را کاهش نمی‌دهد (۲۱، ۲۴، ۲۶ و ۳۷). همچنین کوریکی و همکاران (۱۸) و سووال و همکاران (۳۴) در مطالعه‌شان این نتیجه‌گیری را به عمل آورند که برای تأمین جریان اکولوژیکی در پایین‌دست سدها، پیوند روش‌های هیدرولوژیکی و شبیه‌سازی هیدرولیکی - هیدرودینامیکی زیستگاه، می‌تواند مبنای قابل اطمینان‌تری برای بهره‌برداری و عملکرد بهینه مخزن سد برای نیاز موجودات آبزی و حفاظت از اکوسیستم رودخانه را فراهم کند. در بررسی نتایج این مطالعه و مشاهدات میدانی صورت گرفته این نتیجه‌گیری به عمل می‌آید در صورت عدم تخصیص رهاسازی جریان بهینه از سد جامیشان و نیاز آبی اکولوژیکی مورد نیاز اکوسیستم پایین‌دست، عرض رودخانه دینور در پایین‌دست سد، در اثر تجاوز به بستر رودخانه و رسوب‌گذاری حاصل از کاهش سرعت آب توسط سد، کاهش پیدا می‌کند. کاهش عرض رودخانه، می‌تواند کاهش ظرفیت انتقال سیلاب را در حوضه آبخیز دینور، نیز در پی داشته باشد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش نیاز آبی مناسب و مطلوب اکولوژیکی با استفاده از تجزیه و تحلیل آماری مجموعه داده‌های هیدرولوژیکی جریان رودخانه دینور همراه با مدل اکوهیدرودینامیکی شبیه‌سازی مطلوبیت زیستگاه، برای تعادل بخشیدن به تخصیص رژیم جریان طبیعی و نیازهای دیگر مصارف، مورد بررسی قرار گرفت. مطابق با نتایج برآورد نیاز آبی اکولوژیکی در این مطالعه، حداکثر و حداقل جریان مطلوب اکولوژیکی برآورد شده از ترکیب روش‌های مختلف (هیدرولوژیکی و مدل شبیه‌سازی مطلوبیت زیستگاه) در ماه‌های فرودین و مهر به ترتیب معادل ۳/۷۱ و ۰/۱۷ متر مکعب بر ثانیه، با میانگین جریان سالانه ۱/۳۸ متر مکعب برثانیه (معادل ۸۸/۹ درصد جریان طبیعی رودخانه) است که بایستی در داخل رودخانهٔ دینور برای تأمین پتانسیل اکولوژیکی و حفاظت اکولوژیکی گونهٔ هدف (معادل سطح حفاظتی متوسط و قابل قبول) جاری باشد. همچنین مطابق با نتایج به‌دست آمده، مدل اکوهیدرولیکی River2D، قادر به شبیه‌سازی نوسانات طبیعی جریان رودخانه دینور می‌باشد، در حالی که رژیم اکولوژیکی به‌دست آمده از این روش تقریباً برای همه ماه‌ها کمتر از میانگین جریان ماهانه می‌باشد (برتری روش شبیه‌سازی زیستگاه نسبت به روش هیدرولوژیکی تنانت، توزیع سالانه و تگزاس) و این در صورتی است که روش تنانت برای ماه‌های تیر، مرداد و شهریور، مقدار نیاز آبی اکولوژیکی را بیشتر از میانگین جریان ماهانه درنظر گرفته است. همچنین با توجه به میزان مساحت قابل استفاده وزنی، اجرای کلی محدوده مطلوب جریان اکولوژیکی در فصول خشک و کم آبی، زیستگاه‌های مناسبی را برای دوره‌های مختلف زندگی گونه سیاه‌ماهی خالدار در رودخانه دینور فراهم کرده و پیش‌بینی می‌شود تأثیرات مثبتی بر احیا و عملکرد اکوسیستم رودخانه داشته باشد. در این مطالعه میزان تطابق نتایج شبیه‌سازی مدل اکوهیدرودینامیکی River2D با داده‌های عمق آب و سرعت جریان مشاهداتی بر اساس شاخص‌های آماری ضریب تعیین (R^2)، میانگین خطای مطلق (MAE) و جذر مربعات میانگین خطا (RMSE)، نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج ارزیابی بر اساس حدود شاخص‌ها، عملکرد مطلوب مدل River2D را نشان داد. در نهایت دستاورد پژوهش حاضر این است که محدوده دبی مناسب و مطلوب اکولوژیکی، می‌تواند نیازهای آبی اکولوژیکی موجودات آبزی وابسته به تغییرپذیری رژیم جریان را بهتر تعیین نماید. در این راستا، استفاده از مدل اکوهیدرولیکی River2D برای مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه گونهٔ هدف، می تواند به بهبود عملکرد مدل‌سازی در اکوهیدرولیک و پیش‌بینی دینامیک زیستگاه برای محافظت از زیستگاه مناسب سیاه‌ماهی خالدار در اکوسیستم رودخانهٔ دینور، کمک کند. به طور کلی می‌توان گفت استفاده از مدل River2D به دلیل کاهش هزینه و زمان مورد نیاز برای تحلیل مسائل، می‌تواند جزو راهکارهای ایده‌آل به‌منظور ارتقای سطح مدیریت منابع آب در مدیریت حوضه آبریز و حفظ پتانسیل زیستگاه رودخانه، قلمداد شود. همچنین در مطالعات آینده، پیشنهاد می‌شود بررسی اثرات تنظیم جریان مخزن سد در بالادست بر رژیم هیدرولوژیکی و زیستگاه‌های ماهی به منظور برآورد سطوح مختلف رژیم جریان اکولوژیکی با توسعه مدل‌های پیشرفته اکوهیدرولیکی، اکوهیدرودینامیکی و میکروزیستگاهی، مدنظر قرار گیرند.

سپاسگزاری

از راهنمایی‌ها و همفکری‌های ارزنده آقای دکتر آلبان کوریکی

(پژوهشگر مدیریت و احیای رودخانه) در مرکز تحقیقات هیدروسیستم دانشگاه لیسبون پرتقال، همراهی و همکاری تیم عملیات میدانی گروه اکولوژی آبزیان دانشگاه تهران و همکاری دفتر مطالعات پایه منابع آب شرکت آب منطقه‌ای استان کرمانشاه، تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

1- Azarang F., Telvari A.R., Sedghi H., and Shafaei Bajestan M. 2017. Large Dam Effects on Flow Regime and Hydraulic Parameters of river (Case study: Karkheh River, Downstream of Reservoir Dam). Journal of Water and Soil 31(1):11-27. (In Persian with English abstract)

2- Boavida I., Santos J.M., Ferreira T., and Pinheiro A. 2015. Barbel habitat alterations due to hydropeaking. Journal of Hydro-environment Research 9(2): 237-247.

3- Bounds R.L., and Lyons B.W. 1979. Existing Reservoir and Stream Management Recommendations Statewide Minimum Streamflow Recommendations. Federal Aid Project F30-R-4. Performance Report. Texas Parks and Wildlife Department, Austin, Texas 28p.

4-Esmaili K., Sadeghe Z., Kaboli A., and Shafaei H. 2018. Application Hydrological methods for estimating River Environmental water rights (Case Study of Gorganroud River). Journal of Natural Environmenatal (Iranian Journal of Natural Recorces) 71(4): 437-451. (In Persian with English abstract)

5- Espegren G.D. 1996. Development of instream flow recommendations in Colorado using R2CROSS. Colorado Water Conservation Board, Department of Natural Resources, Water Rights Investigations Section.

6- Farhadian M., Bozorg Haddad O., and Loaiciga H.A. 2020. Fulfillment of river environmental flow: Applying Nash theory for quantitative- qualitative conflict resolution in reservoir operation. Water and Environment Journal.

7- Fukuda S., Tanakura T., Hiramatsu K., and Harada M. 2015. Assessment of spatial habitat heterogeneity by coupling data-driven habitat suitability models with a 2D hydrodynamic model in small-scale streams. Ecological informatics 29: 147-155.

8- Ghanavi H.R., Gonzalez E.G., and Doadrio I. 2016. Phylogenetic relationships of freshwater fishes of the genus *Capoeta* (Actinopterygii, Cyprinidae) in Iran. Ecology and Evolution 6(22): 8205-8222.

9- Gholizadeh M., Toomaj A.S., and Motamedi R. 2020. Fitting of two benthic fishes abundance *Paracobitis hircanica* (Mousavi-Sabet, Sayyadzadeh, Esmaeili, Eagderi, Patimar & Freyhof, 2015) and *Neogobius pallasi* (Berg, 1916) Using Fuzzy Regression. Journal of Applied Ichthyological Research 8(2): 18-26. (In Persian with English abstract).

10- Gippel C.J., and Stewardson M.J. 1998. Use of wetted perimeter in defining minimum environmental flows. Regulated Rivers: Research & Management: An International Journal Devoted to River Research and Management 14(1): 53-67.

11- Heshmati S., and Hafezparast Mavadat M. 2018. Forecasting flow discharge through time series analysis using SARIMA model for drought conditions, a case study of Jamishan River. Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems 6(1): 73-82.

12- Holmes R.W., Rankin D.E., Ballard E., and Gard M. 2016. Evaluation of Steelhead passage flows using hydraulic modeling on an unregulated coastal California River. River Research & Applications 32: 697-710.

13-Johnston C., Zydlewski G.B., Smith S., Zydlewski J., and Kinnison M.T. 2018. River Reach Restored by Dam Removal Offers Suitable Spawning Habitat for Endangered Shortnose Sturgeon. Transactions of the American Fisheries Society 163-175.

14- Kang H., and Choi B. 2018. Dominant fish and macroinvertebrate response to flow changes of the Geum River in Korea. Water 10(7): 942.

15- Khatar B., and Shokoohi A. 2020. Evaluating and Modifying the Texas Method as a Hydrologic Method for Prescribing Ecological Regime in Perennial Rivers. Journal of Soil and Water Resources Conservation 9(3): 31-46. (In Persian with English abstract)

16- Jouladeh-Roudbar A., Ghanavi H.R., and Doadrio I. 2020. Ichthyofauna from Iranian freshwater: Annotated checklist, diagnosis, taxonomy, distribution and conservation assessment. Zoological Studies 59: 21.

17- Kuriqi A., Pinheiro A.N., SordoWard A., and Garrote L. 2019. Flow regime aspects in determining environmental flows and maximising energy production at run-of-river hydropower plants. Applied Energy 256: 113980.

18- Kuriqi A., Pinheiro A.N., Sordo Ward A., and Garrote L. 2020. Water-energy-ecosystem nexus: Balancing competing interests at a run-of-river hydropower plant coupling a hydrologic–ecohydraulic approach. Energy Conversion and Management 223: 113267.

19- Li W., Chen Q., Cai D., and Li R. 2015. Determination of an appropriate ecological hydrograph for a rare fish species using an improved fish habitat suitability model introducing landscape ecology index. Ecological Modelling 311: 31-38.

20- Li F.F., Wei J.H., Qiu J., and Jiang H. 2020. Determining the most effective flow rising process to stimulate fish spawning via reservoir operation. Journal of Hydrology 582: 124490.

21- Liu F., Qin T., Yan D., Wang Y., Dong B., Wang J., Nie H., He S., and Liu S. 2020. Classification of instream ecological water demand and crucial values in a semi-arid river basin. Science of The Total Environment 712: 136409.1-13.
22- Ma B., Dong F., Peng W.Q., Liu X.B., Huang A.P., Zhang X.H., and Liu J.Z. 2020. Evaluation of impact of spur dike designs on enhancement of aquatic habitats in urban streams using 2D habitat numerical simulations. Global Ecology and Conservation 24: 01288.
23- Mostafavi S., and Yasi M. 2015. Evaluation of Environmental Flows in Rivers Using Hydrological Methods (Case study: The Barandozchi River- Urmia Lake Basin). Journal of Water and Soil 29(5): 1219-1231. (In Persian with English abstract)
24- Naderi M.H., Zakerinia M., and Salarijazi M. 2019. Investigation of Ecohydraulic Indices in Environmental Flow Regime and Habitat Suitability Simulation Analysis using River2D Model with Relying on the Restoration Ecological in Zarrin-Gol River. Journal of Ecohydrology 6(1): 205-222. (In Persian)
25- Naderi M.H., Zakerinia M., and Salarijazi M. 2020. Design and Analysis of Optimal Ecological Flow Regime Zarrin-Gol River Using Hydrological Methods and Ecohydraulic Habitat Simulation Model. Journal of Water and Soil 34(3): 515-532. (In Persian with English abstract)
26- Naderi M.H., Alioghli S., Jahandideh O., Rajabizadeh Y., and Salarijazi M. 2020. Determination of Optimal and Desirable Environmental Flow Release from Latian Dam reservoir with Consideration of Ecohydraulic, Hydrological and Hydromorphological Characteristics to Protect the Habitat of the Jajrood River. Iranian Journal of Irrigation and Drainage 14(4):1277-1300 (In Persian with English abstract).
27- Panahi E, Bafkar A., and Hafezparast M. 2017. Assessment of Sustainable Mmanagement Alternatives of Jamishan Watershed in the Climate Scenarios. Iran-Water Resources Research 13(1): 139-151. (In Persian)
28- Poria M., Abdoli A., Kazemian M., Nori F., Khara H., and Ejraei F. 2012. Survey of some properties of population dynamic of Capoeta trutta in Alvand River in Kermanshah province (IR.Iran). Journal of Aquatic Animals and Fisheries 3(10): 17-26. (In Persian)
29- Richter B.D., Baumgartner J.V., Powell J., and Braun D.P. 1996. A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems. Conservation Biology 10(4): 1163-1174.
30- Sarcheshmeh B., Behmanesh J., and Rezaverdinejad V. 2020. Evaluation of Water Scarcity by Determining Quantity and Quality andnd Environmental Flow Requirement of Zarrinehrood. Journal of Water and Soil 34(3): 565-577. (in Persian with English abstract)
31- Shokoohi A., and Hong Y. 2011. Using hydrologic and hydraulically derived geometric parameters of perennial rivers to determine minimum water requirements of ecological habitats (case study: Mazandaran Sea Basin—Iran). Hydrological Processes 25(22): 3490-3498.
32- Sofi M.S., Bhat S.U., Rashid I., and Kuniyal J.C. 2020. The Natural flow regime: A master variable for maintaining river ecosystem health. Ecohydrology 2247.
33- Steffler P., and Blackburn J. 2002. River2D: Two-Dimensional Depth Averaged Model of River Hydrodynamics & Fish Habitat. Introduction to Depth Averaged Modeling & User's Manual. University of Alberta, Edmonton, Canada.
34- Suwal N., Huang X., Kuriqi A., Chen Y., Pandey K.P., and Bhattarai K.P. 2020. Optimisation of cascade reservoir operation considering environmental flows for different environmental management classes. Renewable Energy 453-464.
35- Tennant D.L. 1976. Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. Fisheries 1(4):6-10.
36- Wen X., Fang G.H., Guo Y.X., and Zhou L. 2016. Adapting the operation of cascaded reservoirs on Yuan River for fish habitat conservation. Ecological Modeling 337: 221-230.
37- Zharong P.A.N., Xiao-hong R.U.A.N., and Jing X.U. 2013. A new calculation method of instream basic ecological water demand. Journal of Hydraulic Engineering 44(1): 119.
38- Zhang W., Di Z., Yao W.W., and Li L. 2016. Optimizing the operation of a hydraulic dam for ecological flow requirements of the You-shui River due to a hydropower station construction. Lake and Reservoir Management 32(1): 1-12.
39- Zhao C.S., Yang Y., Yang S.T., Xiang H., Ge Y.R., Zhang Z., and Yu Q. 2020. Effects of spatial variation in water quality and hydrological factors on environmental flows. Science of The Total Environment 138695.
40- Zhu Z.X., Li Y., Li K.F., Cheng B.X., Yang S.R., Liu Q.Y., and Liang, R.F. 2020. Study of quality maintenance of fish habitats in small-and medium-sized mountain rivers with low flow rate. Ecological Engineering 147: 105780.

Journal of Water and Soil
Vol. 35, No. 2, May-June 2021, p. 203-225

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۴۰۰، ص. ۲۲۵-۲۰۳

Estimation of Optimal Release Flow Range from Jamishan Dam Considering the Optimal Instream Ecological Water Demand for Conservation the Habitat Potential of the Dinavar River

M.H. Naderi[1]*- N. Arab[2]- O. Jahandideh[3]- M. Salarijazi[4]- A. Aarb[5]
Received: 23-11-2020
Accepted: 13-02-2021

Introduction: Hydrological variability is of great importance for water resources management. Analyzing the instream environmental flow demand by coupling the hydrological cycle and the hydrodynamic process with aquatic ecological processes at a watershed scale remains one of the most important yet most difficult issues. Ecological water demand (environmental flow) refers to the typical—intra-annual and inter-annual natural flow regime variability—which describes the quality, quantity, and timing of flow discharge required to preserve the ecosystem and sustain essential services upon which human livelihoods and well-being depend. Therefore, ecological water demand (EWD) should be considered as a constraint in water resource planning and management.

Materials and Methods: Numerous methods and frameworks have been developed for establishing ecological water demand at regulated rivers. Hydrologically-based ecological water demand methods, because of their simplicity, data availability, and other economic and social aspects, remain the most applied ones. A suitable range of discharges environmental flow Dinavar River was estimated using advocate statistical analysis of hydrological methods Tennant, Annual Distribution Method, and Texas, coupled with habitat suitability model using the program River2D to natural flow variability need. River2D is a two-dimensional, depth-averaged hydrodynamic and fish habitat model widely used in environmental flow assessment studies. A detailed digital model of the river channel and its surrounding area was developed, including all the morphological characteristics of the river channel and its various sandy islets. Data collection was performed through GIS/GPS mapping surveys, hydro-morphological measurements (water depth, flow, substratum type, etc.), and electrofishing samplings at a microhabitat scale under different discharge conditions. Several different steady-state hydraulic simulations were conducted under typical low flow conditions, producing water depth and water velocity (direction and magnitude) maps for each discharge scenario, while results were verified with the use of field measurements. In the next step, River2D was used for the fish habitat modeling of the study area, with the application of fish preference curves developed specifically for the study area. Finally, the fish habitat modeling was conducted for the *Capoeta trutta* (Heckel, 1843) species, divided into two life groups, forced under the flow conditions. Also, the suitable level of ecological water demand and crucial values with different flow frequencies were analyzed, including water level, water surface width, and Weighted Usable Area.

Results and Discussion: Results show that high environmental flow releases did not necessarily provide the highest habitat availability and suitability at all seasons and fish life-stages. The adult life stage resulted in being more vulnerable to water diversion, particularly during the spring season. Shallow-water hydromorphological units suffered the highest habitat loss. Some of the environmental flow methods demonstrated inconsistent results over seasons and fish life-stages by either allowing for higher environmental flow releases. Also, the Weighted Usable Area -Discharge curve was calculated with the suitability index in medium flow conditions. From the result, the Weighted Usable Area is changed according to flowrate. In the flowrate- Weighted Usable Area/A graph, ecological flow can be determined at 1.38 m^3/s for *Capoeta trutta* (Heckel, 1843) species. Ecological flows were calculated in the range 0.17–3.71 m^3/s as the required discharge, which assures the

1, 2, 3 and 4- Graduated M.Sc. of Water Resources Engineering, Ph.D. Candidate of Environmental Assessment and Landuse Planning, Graduated M.Sc. of Irrigation and Drainage Engineering and Associate Professor Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, respectively.
(*- Corresponding Author Email: naderigau@gmail.com)
5- Graduated M.Sc. of Water Structures Engineering, Mashhad University of Ferdowsi, Mashhad
DOI: 10.22067/jsw.2021.67061.0

welfare and sustainability of protected fish species populations. It was also noticed that low flow months (June to November) required more proportions of mean monthly flow than high flow months (December to May). When compared with flow-duration analysis, it is demonstrative that simulation results fitted EWD considering the quantity of available habitat for fish species. Also, the results of the study indicated that monthly EWD had an increasing trend during the flood season and a decreasing trend during the non-flood season in three sections at different suitable levels. With the increase of suitable levels, the range of EWD in the three sections also increased. The EWD and crucial values were the lowest in April with the smallest range and were the highest from June to October.

Conclusion: The major finding of this research is that the estimated Suitable Range of Discharges could better address environmental water requirements, rather than simply allocating single value minimum ecological flows. Results reveal that the ecohydraulic modeling of river basins should be considered as an indispensable component in sustainable water resources.

Keywords: Environmental flow, Suitability index, River2D, Weighted usable area